Aus der Abteilung für Sportphysiologie und Sportmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke
der Universität Tübingen

EINFLUSS VON TRAINING UND LEBENSALTER AUF DIE MUSKELDURCHBLUTUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Herbert Hörth
aus Ottersweier

1980

Aus der Abteilung für Sportphysiologie und Sportmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke
der Universität Tübingen

EINFLUSS VON TRAINING UND LEBENSALTER AUF DIE MUSKELDURCHBLUTUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Herbert Hörth
aus Ottersweier

1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. G. Rassner
Berichterstatter: Professor Dr. D. Jeschke

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG 3

2. METHODE 5

2.1. Probanden 5
2.1.1. Art des Probandenguts 5
2.1.1.1. Lebensalter und anthropometrische Daten 5
2.1.1.2. Anamnese des Trainingsumfanges 6
2.2. Untersuchungsmethoden 6
2.2.1. Durchblutungsmessungen 6
2.2.2. Ermittlung des Leistungs- und Trainingszustandes 8
2.3. Statistik 12

3. ERGEBNISSE 13

3.1. Gruppenvergleich 13
3.1.1. Probandengut 13
3.1.1.1. Lebensalter und anthropometrische Daten 13
3.1.1.2. Anamnese des Trainingsumfanges 17
3.1.2. Durchblutungswerte 20
3.1.3. Parameter des Leistungs- und Trainingszustandes 26
3.2. Einfluß von Lebensalter, anthropometrischen Daten und Training auf die Durchblutung 36
3.2.1. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und dem Lebensalter 36
3.2.2. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und den anthropometrischen Daten 37
3.2.3. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und dem Trainingsumfang 37
3.2.4. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und den Parametern des Leistungs- und Trainingszustandes 38

4. DISKUSSION 40

4.1. Kritik der Methode 40
4.2. Literaturübersicht 40
4.3. Diskussion der Ergebnisse 44
4.3.1. Einfluß des Lebensalters 44
4.3.2. Einfluß der Trainingsqualität 46
4.3.3. Einfluß der Trainingsquantität 48
4.3.4. Einfluß der objektiven Leistungsparameter 49

5. ZUSAMMENFASSUNG 51

6. TABELLEN 52

7. LITERATURVERZEICHNIS 67

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die Quantität und Qualität der Muskeldurchblutung ist sowohl für den Leistungssport als auch für den präventiven und insbesondere auch rehabilitativen Sport von großer praktischer Bedeutung. Neben dem aeroben Enzymbesatz der Muskelzelle, den lokalen Substratdepots und der Koordination ist sie ein entscheidender leistungslimitierender Faktor (36). In ihrer Ausprägung ist vermutlich ein wesentlicher Grenzfaktor für Ausdauersportarten zu sehen. Auf ihrer Verbesserung beruht aber auch eine Ökonomisierung der Herzarbeit; dies ist in der rehabilitativen Kardiologie als dominierendes Ziel anzusehen. Unter Trainingsaspekten ist bemerkenswert, daß die lokale aerobe Ausdauer zu den am besten trainierbaren Parametern des Körpers überhaupt gehört: eine Steigerung bis zu mehreren 100 % wurde nachgewiesen (61).

Die Muskeldurchblutung als wesentlicher Teil der lokalen aeroben Ausdauer wurde im Rahmen von Trainingsanalysen in Querschnitts- und Längsschnittsstudien mehrfach untersucht. Die Ruhedurchblutung wird, wie einheitlich in der Literatur ausgesagt, durch Training nicht beeinflußt. Die Maximaldurchblutung steigt unter allgemeinem Ausdauertraining nach den Befunden von de Marées und Barbey (55) an. Auf Krafttraining beobachteten Philippi et al. (62) eine Zunahme der reaktiven Mehrdurchblutung. Offen ist die Frage, ob auf lokales oder allgemeines Ausdauertraining die reaktive Mehrdurchblutung ab- oder zunimmt. Während eine Reihe von Autoren über eine Reduzierung berichten (9,10,11,20,22,39,61, 62), fand Kroese (48,50,51,52) eine Zunahme.
Über den Einfluß des Lebensalters auf die Muskeldurchblutung liegen erstaunlicherweise nur zwei Arbeiten vor. Nach Romanovská und Prérovský (67) steigt die reaktive Mehrdurchblutung mit dem Lebensalter an, nach Kroese (49) ist kein Alterseinfluß vorhanden.

Diese offenen Probleme waren der Anlaß, uns in einer Querschnittsstudie erneut mit folgenden Fragen zu befassen:

1. Welche Bedeutung haben bestimmte Trainingsformen auf die Muskeldurchblutung?
2. Besteht eine Abhängigkeit vom Trainingsumfang?
3. Welche Beziehungen bestehen zum Leistungszustand?
4. Welche Bedeutung kommt dem Lebensalter des Probanden zu?

An 100 Sportlern verschiedener Disziplinen führten wir deshalb Durchblutungsmessungen mit der Venenverschlußplethysmographie durch. Neben persönlichen Daten wurde anhand der Anamnese die Qualität und Quantität des Trainings erfaßt. Der Trainings- bzw. Leistungszustand wurde mit Hilfe spiroergometrischer Daten beurteilt.
Diese Studie wurde von Januar 1978 bis Mai 1978 durchgeführt.

2. METHODE

2.1. Probanden

2.1.1. Art des Probandenguts

Die Untersuchungen wurden an Mitgliedern des D-Kaders (Nachwuchsleistungssportler des Landes Baden-Württemberg) und an Probanden vorgenommen, die wir im Rahmen eines vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft unterstützten Forschungsprojektes analysierten.
Die Personen wurden nach den betriebenen Sportarten in folgende Gruppen eingeteilt:

Gruppe I : Langstreckenläufer, d.h. Teilnehmer am Forschungsprojekt (n = 23)
Gruppe II : Ruderer (n = 29)
Gruppe III: Radfahrer (n = 14)
Gruppe IV : Fußballspieler (n = 20)
Gruppe V : Kurz- und Mittelstreckenläufer (n = 8)
Gruppe VI : Gewichtheber (n = 6)

2.1.1.1. Lebensalter und anthropometrische Daten

Von jedem Probanden wurden folgende Werte erfragt bzw. bestimmt (die Daten sind in Tabelle I unter "A" bis "D" aufgeschlüsselt):

1. Lebensalter in Jahren (Tab. I, "A")
2. Körpergröße in cm (Tab. I, "B")
3. Körpergewicht in kg (Tab. I, "C")
4. Gesamtkörperfettgehalt in % auf Grund der Hautfaltendikkenbestimmung (Tab. I, "D")
   Die Hautfaltendicke in mm, bestimmt als Summe von Calipermessungen an der Dorsalseite des hängenden linken Oberarmes in Längsrichtung, in Verlängerung der Scapularlinie unterhalb der Scapula und an einer horizontal

abgehobenen Hautfalte 5 cm seitlich des Nabels steht in enger Korrelation zum Gesamtkörperfett (73,75). Deshalb kann aus diesen Meßergebnissen in mm der Gesamtkörperfettgehalt in % errechnet werden.

2.1.1.2. Anamnese des Trainingsumfanges

Von jedem Probanden wurde das Training unter folgenden Gesichtspunkten erfragt (die Daten sind in Tabelle I unter "E" bis "G" aufgeschlüsselt):

1. Trainingsalter in Jahren (Tab. I, "E")
2. Trainingsstunden pro Woche (Tab. I, "F")
3. Trainingshäufigkeit pro Woche (Tab. I, "G")

2.2. Untersuchungsmethoden

2.2.1. Durchblutungsmessungen

Die periphere Durchblutung wurde mit Hilfe des Venenverschlußplethysmographen "Periquant 3500" (strain-gauge-Methode Dr. ing. Gutmann) in Ruhe und nach dreiminütiger Ischämie bestimmt. Die vom Gerät ausgedruckten Werte wurden anhand der Kurven, die den Verlauf der Durchblutung aufzeigen, kontrolliert.

1. Ruhedurchblutung in ml Blut/100 ml Gewebe x min (Tab. II, "RUHE")
   Die Ruhedurchblutung wurde sowohl am linken Bein als auch am linken Arm bestimmt. Dazu wurde der Proband auf einer Untersuchungsliege so gelagert, daß die Extremität, an der die Messung durchgeführt wurde, keinen direkten Kontakt mit der Liege hatte. Dies wurde durch Schaumstoffunterlagen im Fersen- und distalen Oberschenkelbereich bzw. Handgelenk und distalen Oberarmbereich erreicht.

Zur Bestimmung der Ruhedurchblutung wurde an dem so gelagerten Probanden der venöse Abfluß durch eine in der Mitte des Oberschenkels bzw. des Oberarms angelegte, auf subdiastolischen Blutdruck aufgeblasene Manschette unterbunden. Da der arterielle Einstrom nicht unterbunden war, resultierte so eine Volumenzunahme. Die damit verbundene Zunahme des Umfanges wurde durch einen am größten Umfang des Unterschenkels bzw. des Unterarmes lokalisierten Meßfühler registriert und durch den eingebauten Analogrechner des Plethysmographen in Durchblutungswerte umgerechnet. Außerdem erfolgte eine graphische Aufzeichnung des Durchblutungsverlaufes (6,31,33,69,83). Aus drei Einzelmessungen wurde der Mittelwert berechnet.

2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie (Tab. II, "FF" und "PF")
   Als Belastungsreiz für eine Hyperämie wurde die Ischämie gewählt. Sie wurde durch einen in der Mitte des Oberschenkels bzw. des Oberarmes angelegten Staudruck von 280 mm Hg erzeugt. Dadurch wurde sowohl der arterielle Einstrom als auch der venöse Abfluß unterbunden. Nach drei Minuten wurde der Druck auf einen subdiastolischen Wert abgelassen und die Durchblutung analog der Messung der Ruhedurchblutung alle 10 Sekunden, beginnend 5 Sekunden nach Ablassen des Staudruckes, bis zum Erreichen des Ruhedurchblutungswertes bestimmt. Dabei entsprach der erste Wert dem "first flow", der höchste Wert dem "peak flow" (6).
3. Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie in Sekunden (Tab. II, "HWZ")
   Dazu wurde die Rückbildung der reaktiven Hyperämie graphisch zur Zeit aufgetragen und der Zeitpunkt bestimmt, an dem 50 % des peak flow abgeklungen waren (siehe Abb. 1).

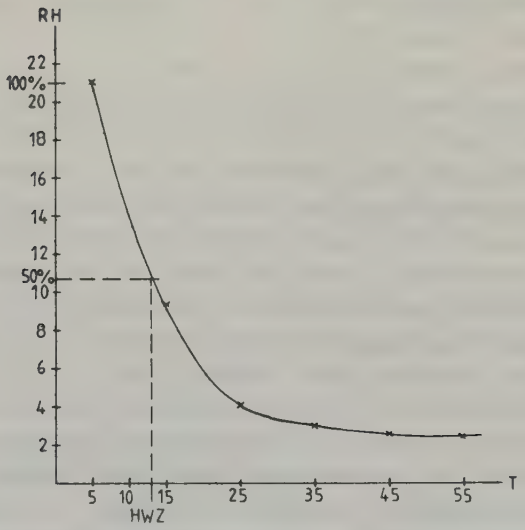

Abb. 1: Graphische Ermittlung der Halbwertszeit (HWZ)
Abszisse: Zeit (T) in Sekunden
Ordinate: Durchblutungswerte der reaktiven Hyperämie in ml/100 ml x min (RH)

Beispiel: Ruhedurchblutung = 2,4 ml/100 ml x min
peak flow = 21,0 ml/100 ml x min
50 % = $\frac{21,0 - 2,4}{2}$ + 2,4 = 11,7
HWZ = 13 sec.

2.2.2. Ermittlung des Leistungs- und Trainingszustandes

Von den Parametern der Leistungsfähigkeit wurde mit Hilfe einer standardisierten Spiroergometrie die aerobe und anaerobe Kapazität des Probanden ermittelt. Die Belastungen erfolgten zum einen im Sitzen auf einem Fahrradergometer (Gruppe II bis VI); alle zwei Minuten wurde die Belastung,

ausgehend von 150 Watt, um jeweils 50 Watt bis zur Erschöpfung des Probanden gesteigert. Zum anderen wurde eine Laufbandergometrie durchgeführt (Gruppe I), wobei die Bandgeschwindigkeit von 8 km/h um jeweils 2 km/h bei konstanter Steigung von 5 % nach jeweils drei Minuten bis zur Erschöpfung des Probanden gesteigert wurde.
Die spiroergometrischen Werte wurden mit Hilfe des halbgeschlossenen Systems der Fa. Jäger "Ergopneumotest" erhoben. Die Werte wurden halbminütlich mittels einer computerisierten Auswertung erfaßt und digital ausgedruckt.
Außerdem erfolgte parallel eine analoge Aufzeichnung der Meßsignale.
Folgende Parameter wurden gemessen (die Daten sind in Tabelle I unter "H" bis "P" und in Tabelle II unter "HF", "RR -1", "RR +1", "Δ pH" und "Δ LACT" aufgeschlüsselt).

1. Maximale Leistung der Gruppe I auf dem Laufband in km/h (Tab. I, "H")
2. Maximale Leistung der Gruppen II bis VI auf dem Fahrradergometer in Watt
   a) Absolutwert (Tab. I, "H")
   b) pro kg Körpergewicht (Tab. I, "I")
3. PWC 170 der Gruppen II bis VI in Watt/kg (Tab. I, "K")
   Die pulse working capacity 170 entspricht der Leistung in Watt bzw. Watt pro kg Körpergewicht bei einer Herzfrequenz von 170/Minute (12,26,56,81).
   Abbildung 2 zeigt die Normalwerte sowie die Werte für Probanden mit eingeschränkter bzw. vergrößerter Leistungsfähigkeit (nach Mellerowicz, 56)
4. Maximale Sauerstoffaufnahme in Litern pro Minute
   a) Absolutwert (Tab. I, "L")
   b) pro kg Körpergewicht (Tab. I, "M")
   Mit Sauerstoffaufnahme wird die in der Zeiteinheit von der Lunge aufgenommene Menge O_2 bezeichnet. Die Größe der maximalen Sauerstoffaufnahme ist ein zuverlässiges Maß für die cardio-vaskuläre Leistungsfähigkeit (28,44, 53,63,64).

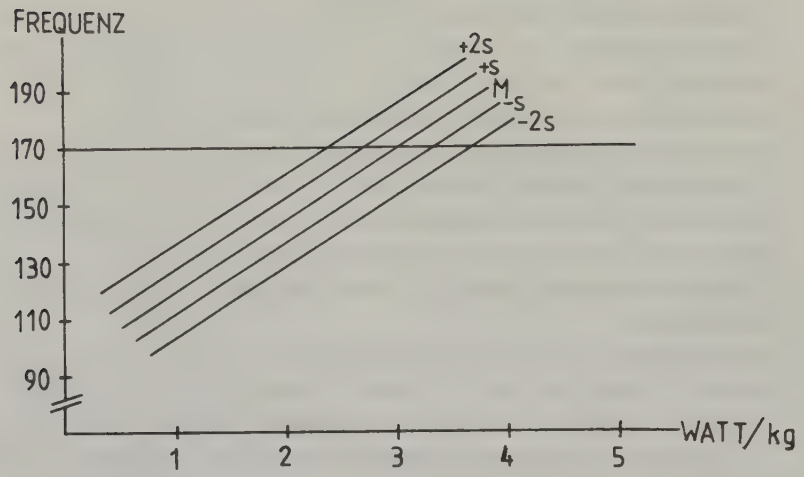

Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der PWC 170 (nach Mellerowicz, 56)
Abszisse: Leistung in Watt/kg
Ordinate: Herzfrequenz
+ s : Kreislauf kleiner Leistungsbreite
+ 2s: Pathologische Einschränkung der Leistungsbreite
- s : Kreislauf großer Leistungsbreite
- 2s: Kreislauf sehr großer Leistungsbreite (Hochtrainierte)

5. Maximaler Sauerstoffpuls in ml

   a) Absolutwert (Tab. I, "N")

   b) pro kg Körpergewicht (Tab. I, "O")

   Unter Sauerstoffpuls versteht man die Menge O_2, die in der Zeit einer ganzen Herzaktion (Systole und Diastole) aufgenommen wird. Er ist abhängig von der Größe des Schlagvolumens und der arterio-venösen O_2-Differenz des Blutes (16,18,19,46,57,60,76).

6. Maximales exspiratorisches Volumen in Litern pro Minute (Tab. I, "P")

   Das maximale exspiratorische Volumen pro Minute ist das Produkt aus dem maximalen Atemzugvolumen und der maximalen Atemfrequenz (3,54,59,65).

7. Maximale Herzfrequenz (Tab. II, "HF")
   Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe des EKG.
8. Lactatspiegel des Blutes in mmol pro Liter
   a) vor der Belastung
   b) eine Minute nach Belastung
   c) drei Minuten nach Belastung
   Mit Hilfe dieser drei Werte wurde die größte Zunahme des Lactatspiegels bestimmt, die sich also aus der Differenz b) - a) bzw. c) - a) errechnete (Tab. II, "△ LACT").
   Die Bestimmung des Lactatspiegels erfolgte nach der enzymatischen Methode nach Boehringer (38,41).
9. pH-Wert des Blutes
   a) vor Belastung
   b) eine Minute nach Belastung
   c) drei Minuten nach Belastung
   Analog dem Lactatspiegel erfolgte die Bestimmung der größten pH-Differenz (Tab. II, "△ pH").
   Der pH-Wert des Blutes wurde mit einem PHM 72 MK 2 DIGITAL ACID ANALYZER der Fa. Radiometer, Copenhagen, aus dem Blut des hyperämisierten Ohrläppchens ermittelt.
   Die Veränderungen der Wasserstoffionenkonzentraion sind hauptsächlich durch die Veränderungen des Lactatspiegels bedingt. Weiterhin werden sie von der Pufferkapazität des Blutes bestimmt (17,35,40,42,43).
10. Systolischer Blutdruck in mm Hg
    a) eine Minute vor Belastung (Tab. II, "RR -1")
    b) eine Minute nach Belastung (Tab. II, "RR +1")
    Die Bestimmung erfolgte nach dem Prinzip von Riva-Rocci und Korotkow.

2.3. Statistik*

Zur Überprüfung der entsprechenden Korrelationen wurde der jeweilige Korrelationskoeffizient ermittelt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0{,}05$ wurde als Signifikanzgrenze angenommen. Für den Vergleich von Mittelwerten wurde der parameterfreie Test nach Wilcoxon für Paardifferenzen gewählt (34). Auch hier wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0{,}05$ als Signifikanzgrenze angenommen.

* Wir danken Herrn Schubring vom Zentrum für Datenverarbeitung (Direktor Prof. Dr. Graef) für die Beratung und die Ausarbeitung der statistischen Beurteilungsverfahren.

3. ERGEBNISSE

Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Sportarten entsprechend den Gruppen I bis VI.

3.1. Gruppenvergleich

3.1.1. Probandengut

3.1.1.1. Lebensalter und anthropometrische Daten

1. Lebensalter

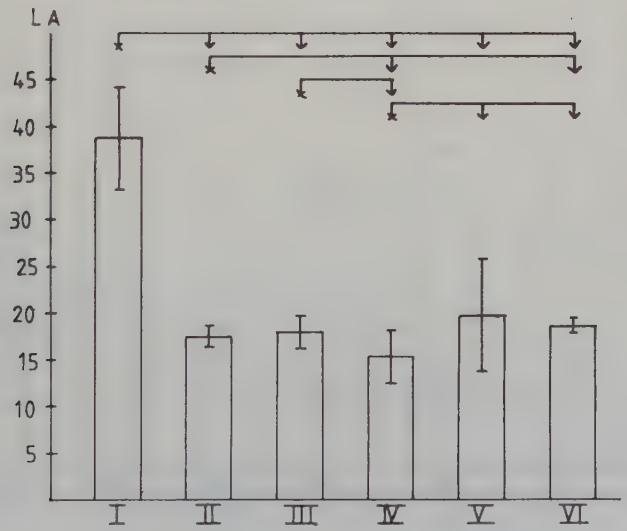

Abb. 3: Lebensalter (LA) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der LA in Jahren mit Standardabweichungen
N siehe "A" in Tabelle I
Die Mittelwerte der mit ↓ gekennzeichneten Gruppen sind von dem Mittelwert der mit ↓ gekennzeichneten Gruppe statistisch signifikant verschieden.

Mit im Durchschnitt 38,8 Jahren waren die Langstreckenläufer (Gr. I) die ältesten und mit 15,2 Jahren die Fußballspieler (Gr. IV) die jüngsten Sportler.
Das durchschnittliche Lebensalter der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 3 und Tabelle I, die Häufigkeit des Lebensalters bei den einzelnen Gruppen in Abbildung 5 dargestellt.

2. Körpergröße
Die Ruderer (Gr. II) und die Radfahrer (Gr. III) waren durchschnittlich die größten, die Fußballspieler (Gr. IV) die kleinsten Sportler.
Die durchschnittliche Körpergröße der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen ist in Abbildung 4 und Tabelle I dargestellt.

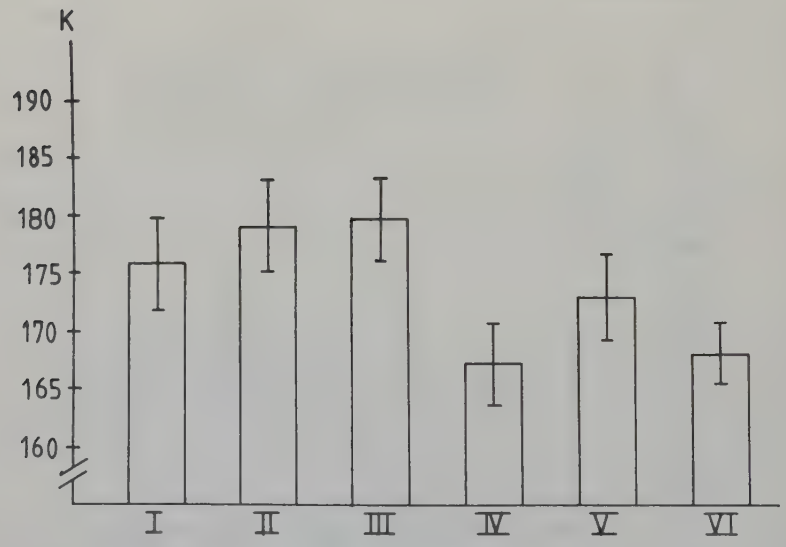

Abb. 4: Körpergröße (K) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der K in cm mit Standardabweichungen
N siehe "B" in Tabelle I

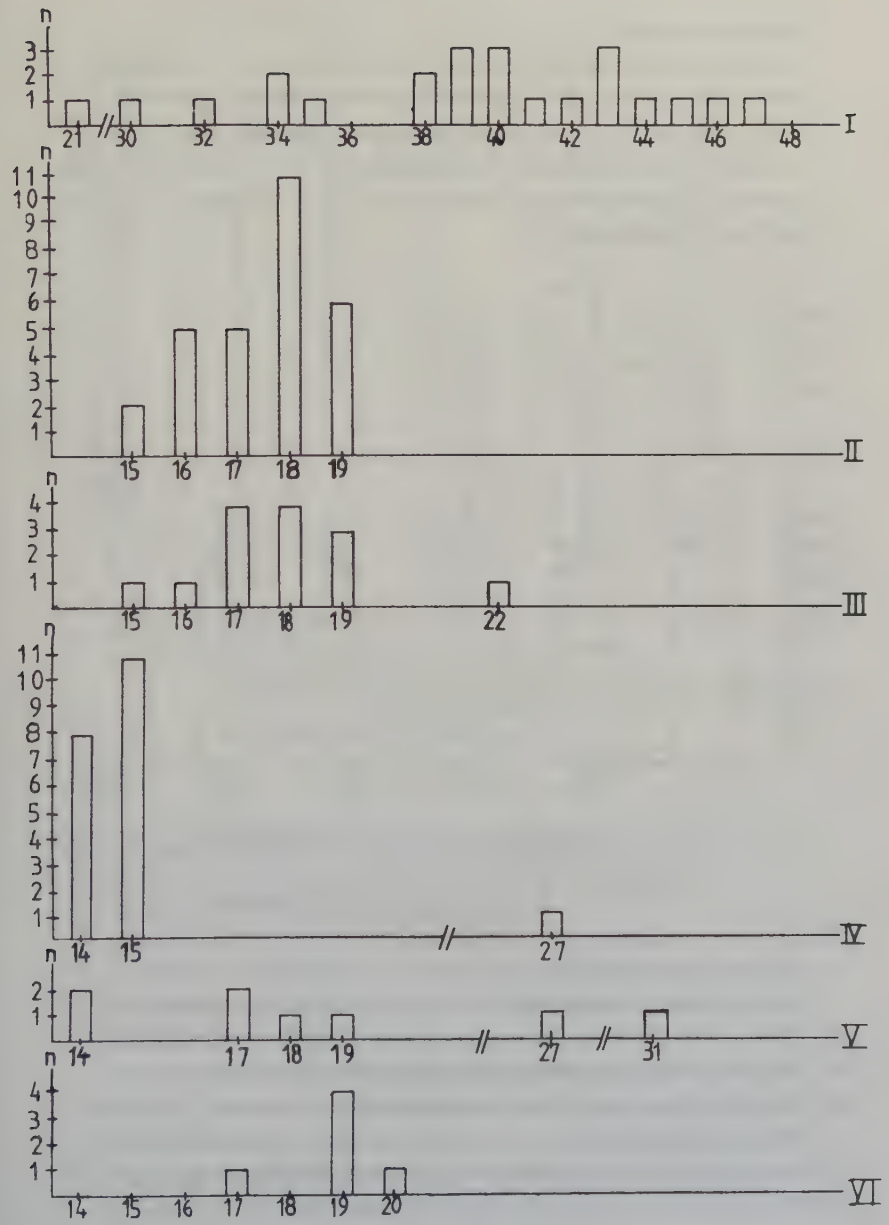

Abb. 5: Häufigkeitsverteilung nach Lebensalter in den einzelnen Gruppen
Abszisse: Lebensalter in Jahren
Ordinate: Anzahl der Probanden

3. Körpergewicht

Die Langstreckenläufer (Gr. I) wiesen mit im Durchschnitt 71,5 kg das höchste und die Fußballspieler (Gr. IV) mit 56,6 kg das geringste Gewicht auf.
Das durchschnittliche Körpergewicht der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen ist in Abbildung 6 und Tabelle I dargestellt.

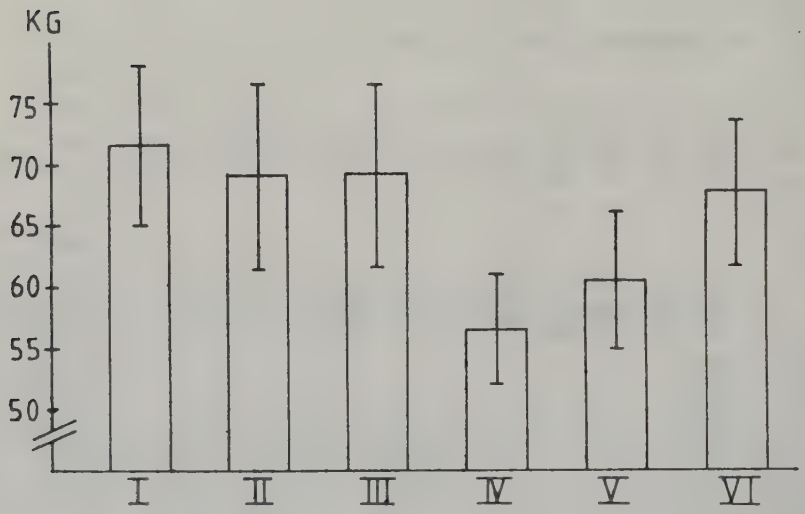

Abb. 6: Körpergewicht (KG) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der KG in kg mit Standardabweichungen
N siehe "C" in Tabelle I

4. Gesamtkörperfettgehalt

Die Langstreckenläufer (Gr. I) zeigten mit durchschnittlich 11 % den größten und die Radfahrer (Gr. III) mit 7,5 % den geringsten Gesamtkörperfettgehalt.
Der durchschnittliche Gesamtkörperfettgehalt in % des Körpergewichtes der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen ist in Abbildung 7 und Tabelle I dargestellt.

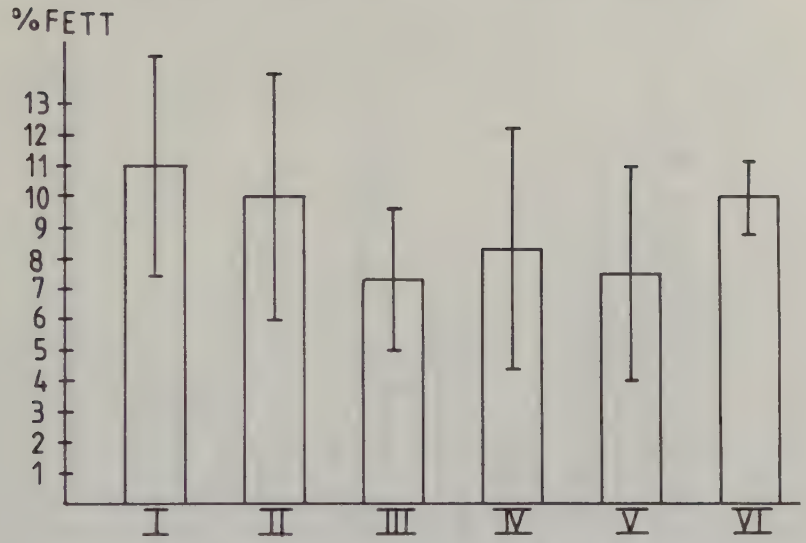

Abb. 7: Gesamtkörperfettgehalt in % des Körpergewichtes (% FETT) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der % FETT mit Standardabweichungen
N siehe "D" in Tabelle I

3.1.1.2. Anamnese des Trainingsumfanges

1. Trainingsalter

Das Trainingsalter zeigte sowohl innerhalb einer Gruppe als auch zwischen den einzelnen Gruppen eine große Variationsbreite. Die Langstreckenläufer (Gr. I) trainierten mit 6,1 Jahren am längsten, wobei innerhalb dieser Gruppe Trainingszeiten zwischen 1 und 21 Jahren vorlagen. Die geringste Streubreite wiesen die Gewichtheber (Gr. VI) auf.

Das durchschnittliche Trainingsalter der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikan-

ten Unterschieden ist in Abbildung 8 und Tabelle I dargestellt.

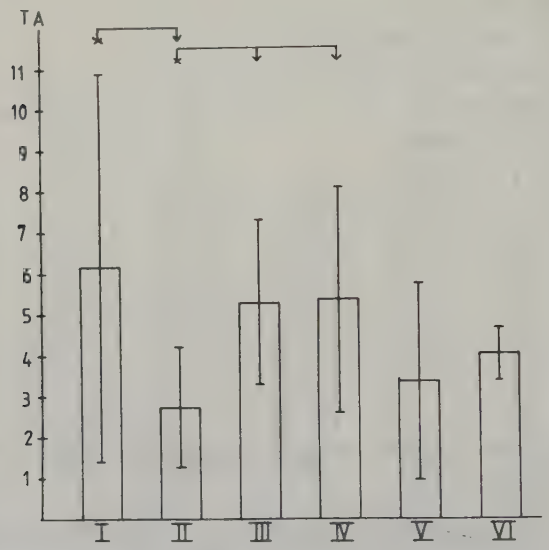

Abb. 8: Trainingsalter (TA) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der TA in Jahren mit Standardabweichungen
N siehe "E" in Tabelle I

2. Trainingsstunden pro Woche

Die Langstreckenläufer (Gr. I) waren die Probanden mit dem geringsten Trainingsaufwand; mit durchschnittlich 12,1 Stunden pro Woche trainierten die Radfahrer (Gr. III) am meisten.

Die durchschnittliche Trainingsstundenzahl pro Woche der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 9 und Tabelle I dargestellt.

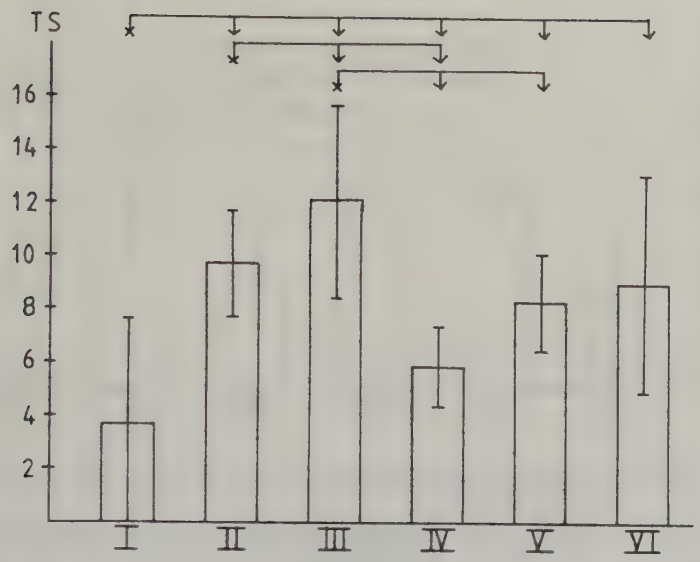

Abb. 9: Trainingsstunden pro Woche (TS) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der TS mit Standardabweichungen
N siehe "F" in Tabelle I

3. Trainingshäufigkeit pro Woche

Bei der Trainingshäufigkeit pro Woche waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen nicht so deutlich ausgeprägt. Die Radfahrer (Gr. III) trainierten mit durchschnittlich 6,7 Mal pro Woche am häufigsten, die Langstreckenläufer (Gr. I) mit 2,8 Mal am wenigsten. Die durchschnittliche Trainingshäufigkeit pro Woche der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 10 und Tabelle I dargestellt.

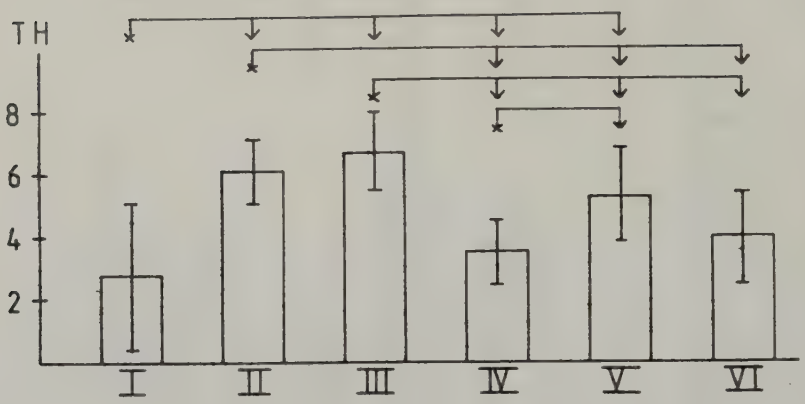

Abb. 10: Trainingshäufigkeit pro Woche (TH) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der TH mit Standardabweichungen
N siehe "G" in Tabelle I

3.1.2. Durchblutungswerte

1. Ruhedurchblutung
   Die Mittelwerte der Ruhedurchblutung des linken Beines schwankten zwischen 3,28 ml/100 ml x min bei den Langstreckenläufern (Gr. I) und 2,44 ml/100 ml x min bei den Ruderern (Gr. II). Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich nicht.
   Am linken Arm fanden sich Mittelwerte von maximal 6,69 ml/100 ml x min bei den Gewichthebern (Gr. VI) bis minimal 4,09 ml/100 ml x min bei den Langstreckenläufern (Gr. I). Es bestand auch hier kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen.
2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie
   Der Verlauf der reaktiven Hyperämie nach Ischämie vom "first flow" bis zum Erreichen der Ruhedurchblutung war sowohl intraindividuell (zwischen linkem Bein und linkem

Arm) als auch interindividuell sehr verschieden (vgl. Abbildung 11). Es wurde jeweils der "first flow" ("FF") und der "peak flow" ("PF") bestimmt. Dabei waren am linken Bein in 82 % und am linken Arm in 81 % die Werte identisch (siehe Abbildung 12 und 13). Bei der Auswertung fand nur der "peak flow" Verwendung. Er ist mit der Bezeichnung "maximal flow", die von anderen Autoren verwendet wird, identisch.

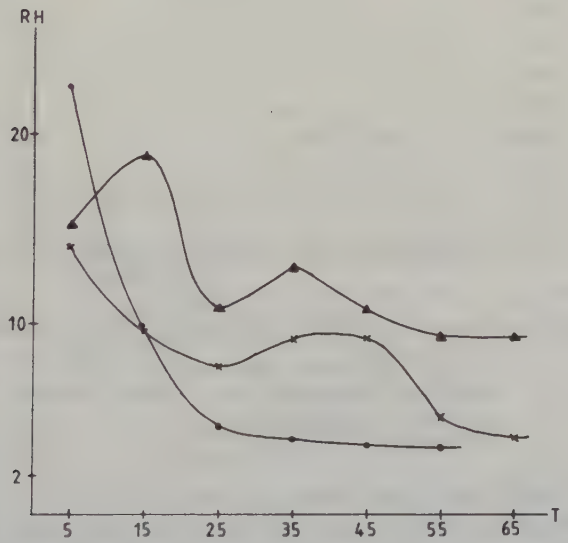

Abb. 11: Beispiele für den verschiedenen Verlauf der reaktiven Hyperämie nach Ischämie
▲ : HB.S., Fußballspieler (Gr. IV), Durchblutungswerte des linken Armes
✕ : A.R., Fußballspieler (Gr. IV), Durchblutungswerte des linken Armes
● : H.M., Ruderer (Gr. II), Durchblutungswerte des linken Beines
Abszisse: Zeit T in Sekunden
Ordinate: Durchblutungswerte der reaktiven Hyperämie (RH) in ml/100 ml x min

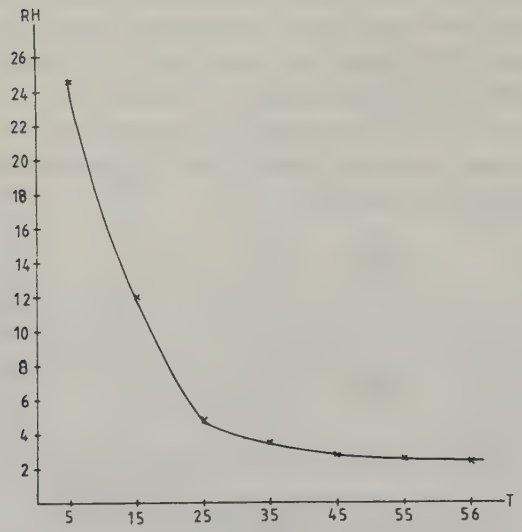

Abb. 12: Beispiel eines identischen "first"- und "peak flow"
K.N., Radfahrer (Gr. III),
Durchblutungswerte des linken Beines
Abszisse: siehe Abb. 11.
Ordinate: siehe Abb. 11

a) "Peak flow" des linken Beines

Die Maximaldurchblutung der Ruderer (Gr. II), der Radfahrer (Gr. III) sowie der Kurz- und Mittelstreckenläufer (Gr. V) mit Durchschnittswerten um 25 ml/100 ml x min hob sich von der der Langstreckenläufer (Gr. I) mit dem Durchschnittswert 32,4 ml/100 ml x min und der Gewichtheber (Gr. VI) mit durchschnittlich 28,3 ml/100 ml x min deutlich ab.

Die Fußballspieler wiesen mit durchschnittlich 20,1 ml/100 ml x min den geringsten Wert aller Gruppen auf.

Die durchschnittlichen "peak flow"-Werte der einzelnen Gruppen für das linke Bein mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden sind in Abbildung 14 und Tabelle II dargestellt.

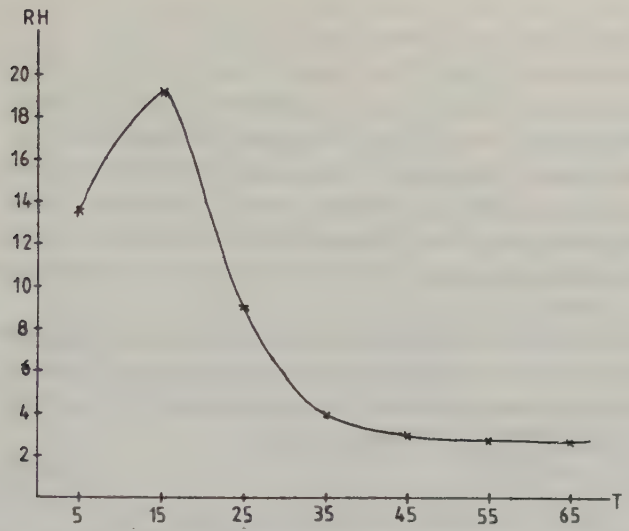

Abb. 13: Beispiel eines differierenden "first"- und "peak flow"
A.R., Fußballspieler (Gr. IV), Durchblutungswerte des linken Beines
Abszisse: siehe Abb. 11
Ordinate: siehe Abb. 11

Abb. 14: "peak flow" (PF) des linken Beines der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der PF in ml/100 ml x min mit Standardabweichungen

b) "Peak flow" des linken Armes

Mit Werten um 33 ml/100 ml x min fand sich bei den Langstreckenläufern (Gr. I), den Ruderern (Gr. II) sowie den Gewichthebern (Gr. VI) in etwa eine gleiche Maximaldurchblutung. Niedrigere Werte lagen bei den Radfahrern (Gr. III) vor. Die geringsten Werte wiesen mit durchschnittlich 20,1 bzw. 18,6 ml/100 ml x min die Fußballspieler (Gr. IV) bzw. die Kurz- und Mittelstreckenläufer (Gr. V) auf.

Die durchschnittlichen "peak flow"-Werte der einzelnen Gruppen für den linken Arm mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden sind in Abbildung 15 und Tabelle II dargestellt.

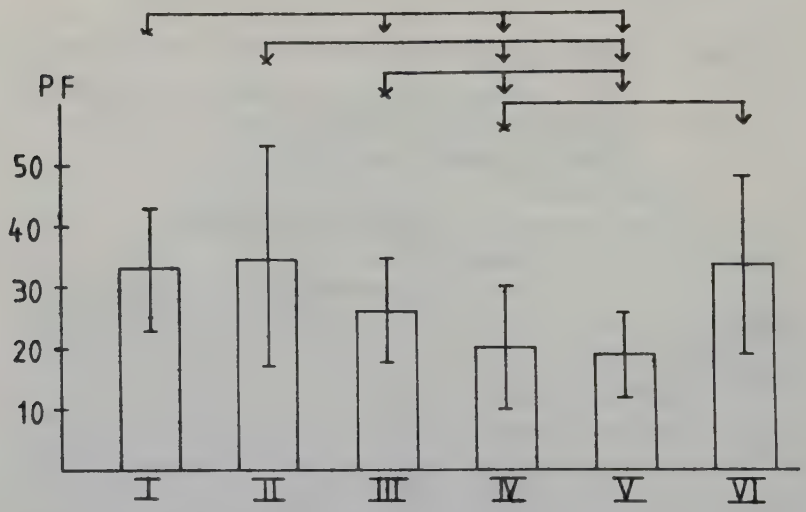

Abb. 15: "Peak flow" (PF) des linken Armes der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der PF in ml/100 ml x min mit Standardabweichungen
N siehe "PF" in Tabelle II (Spalte 12)

c) Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie des linken Beines

Die im Durchschnitt längste Halbwertszeit wiesen mit 16,8 Sekunden die Kurz- und Mittelstreckenläufer (Gr. V) auf, die im Durchschnitt kürzeste die Gewichtheber (Gr. VI) mit 5,5 Sekunden. Auffällig waren erhebliche Streuungen, insbesondere in den Gruppen III, IV und V. Die durchschnittliche Halbwertszeit der einzelnen Gruppen für das linke Bein mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 16 und Tabelle II dargestellt.

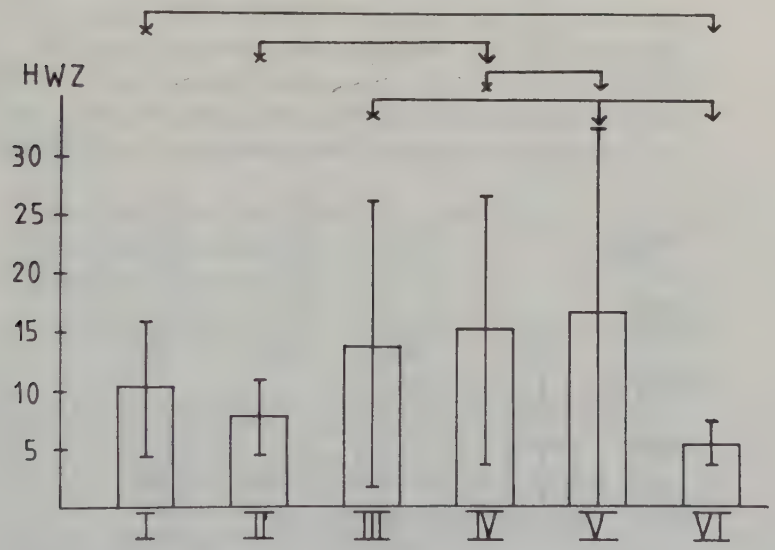

Abb. 16: Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie (HWZ) des linken Beines der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der HWZ in Sekunden mit Standardabweichungen
N siehe "HWZ" in Tabelle II (Spalte 9)

d) Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie des linken Armes

Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen schwankten zwi-

schen durchschnittlich 10,3 und 20,8 Sekunden. Ein statistisch signifikanter Unterschied zeigte sich dabei nicht.

3.1.3. Parameter des Leistungs- und Trainingszustandes

1. Maximale Leistung in Watt
   a) Absolutwerte
   b) pro kg Körpergewicht

   Sowohl bei den Absolut- als auch bei den Relativwerten zeigten die Radfahrer (Gr. III) mit durchschnittlich 393 Watt bzw. 5,7 Watt/kg die beste Leistung. Die Fußballspieler (Gr. IV) waren bei den Absolutwerten mit durchschnittlich 250 Watt die schlechtesten; bei den Relativwerten wurden sie jedoch von den Gewichthebern (Gr. VI) auf Grund deren höheren Körpergewichts noch unterboten.

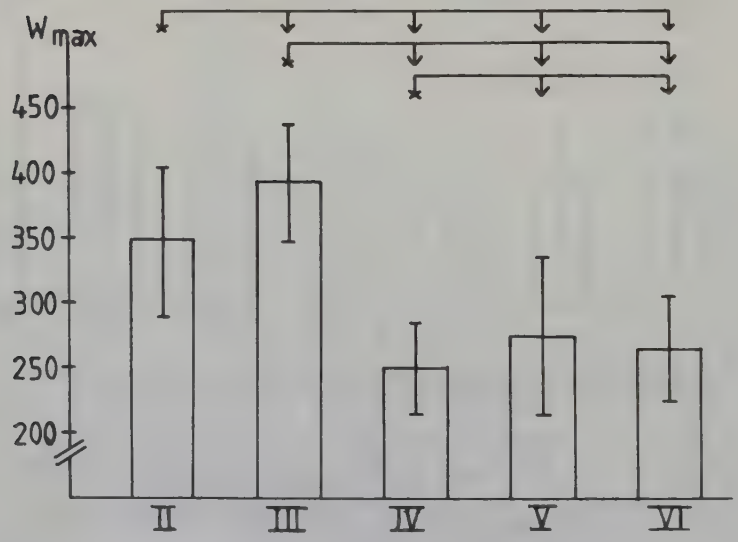

Abb. 17: Maximale Leistung (W_{max}) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe II bis VI
Ordinate: Mittelwerte der W_{max} in Watt mit Standardabweichungen
N siehe "H" in Tabelle I

Die durchschnittliche maximale Leistung der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 17 (Absolutwerte) und Tabelle I bzw. Abbildung 18 (pro kg Körpergewicht) und Tabelle I dargestellt.

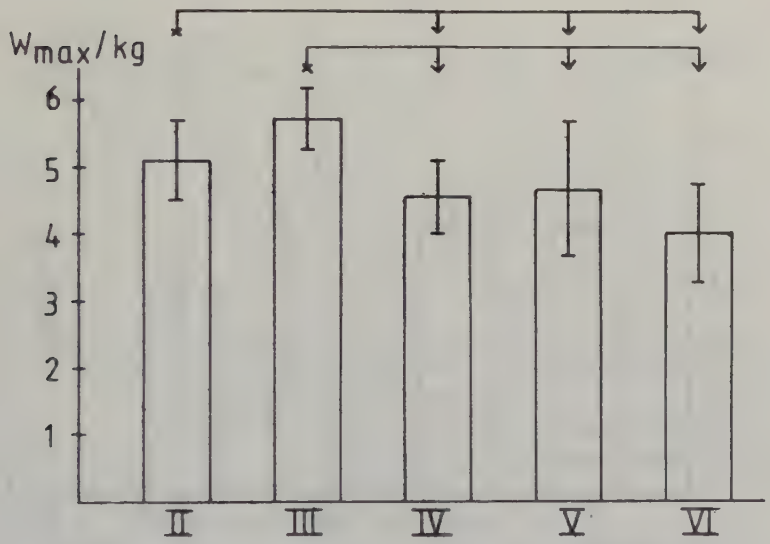

Abb. 18: Maximale Leistung pro kg Körpergewicht (W_{max}/kg) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe II bis VI
Ordinate: Mittelwerte der W_{max}/kg in Watt/kg mit Standardabweichungen
N siehe "I" in Tabelle I

2. Maximale Sauerstoffaufnahme
   a) Absolutwert
   b) pro kg Körpergewicht

Die Radfahrer (Gr. III) zeigten durchschnittlich die höchsten Werte sowohl absolut (4,5 l/min) als auch in Relation zum Körpergewicht (64,1 ml/min x kg).

Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 19 (Absolutwerte) und Tabelle I bzw. Abbildung 20 (pro kg Körpergewicht) und Tabelle I dargestellt.

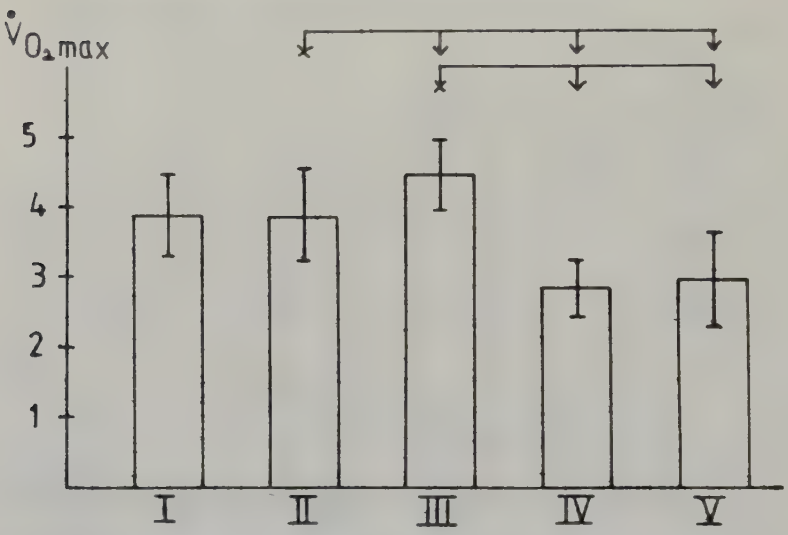

Abb. 19: Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}\ O_{2max}$) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der $\dot{V}\ O_{2max}$ in l/min mit Standardabweichungen
N siehe "L" in Tabelle I

3. Maximale Herzfrequenz

Die Ruderer (Gr. II) wiesen mit durchschnittlich 193 Schlägen pro Minute die höchste und die Gewichtheber mit 180 Schlägen pro Minute die niedrigste Herzfrequenz auf.

Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 21 und Tabelle II dargestellt.

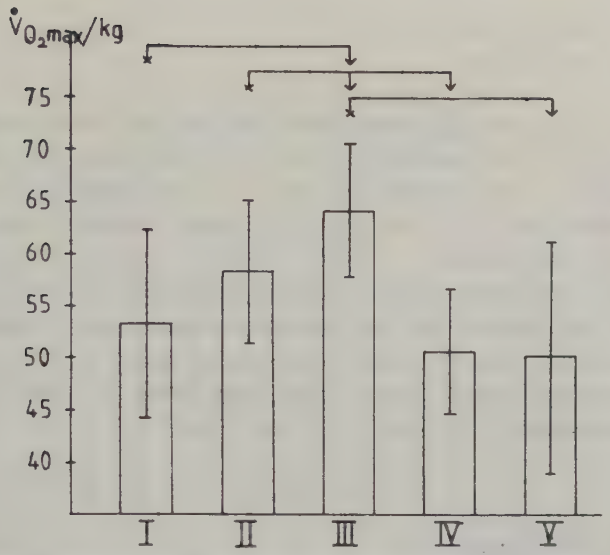

Abb. 20: Maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht ($\dot{V}$ O_{2max}/kg) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der $\dot{V}$ O_{2max}/kg in ml/min x kg mit Standardabweichungen
N siehe "M" in Tabelle I

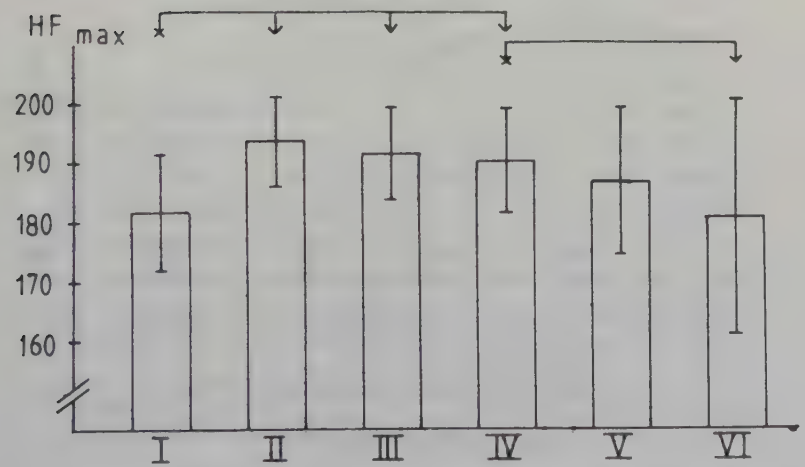

Abb. 21: Maximale Herzfrequenz (HF_{max}) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der HF_{max} in Schlägen pro Minute mit Standardabweichungen
N siehe "HF" in Tabelle II

4. Maximaler Sauerstoffpuls

a) Absolutwert

b) pro kg Körpergewicht

Die höchsten Sauerstoffpulse wurden mit durchschnittlich 23,5 ml absolut und 0,32 ml/kg in Relation zum Körpergewicht bei den Radfahrern (Gr. III) bestimmt, die niedrigsten mit 15,1 ml bzw. 0,27 ml/kg bei den Fußballspielern (Gr. IV).

Der durchschnittliche maximale Sauerstoffpuls der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 22 (Absolutwerte) und Tabelle I bzw. Abbildung 23 (pro kg Körpergewicht) und Tabelle I dargestellt.

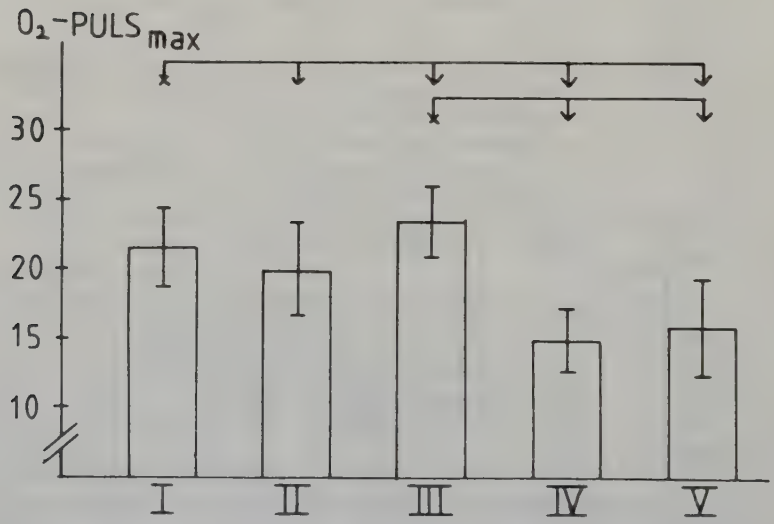

Abb. 22: Maximaler Sauerstoffpuls (O_2-$PULS_{max}$) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der O_2-$Pulse_{max}$ in ml mit Standardabweichungen
N siehe "N" in Tabelle I

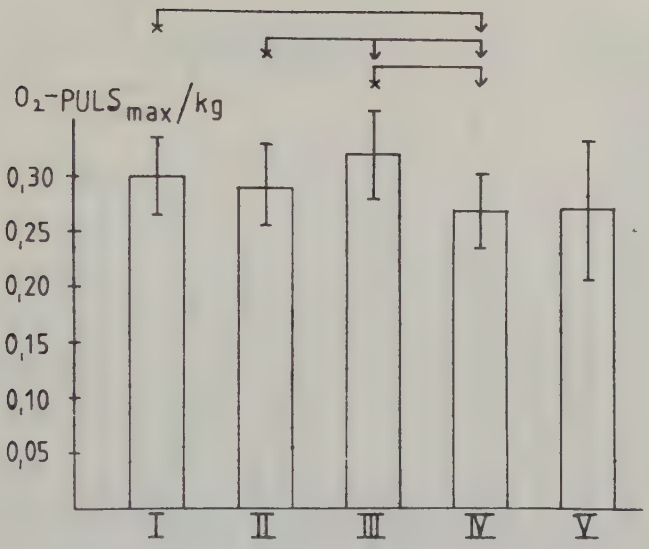

Abb. 23: Maximaler Sauerstoffpuls pro kg Körpergewicht (O_2-$PULS_{max}$/kg) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der O_2-$Pulse_{max}$/kg in ml/kg mit Standardabweichungen
N siehe "O" in Tabelle I

5. Maximales Atemvolumen

Die höchsten Atemvolumina erreichten die Radfahrer (Gr. III) mit einem Durchschnittswert von 149,2 l/min, die geringsten die Fußballspieler (Gr. IV) mit durchschnittlich 99,6 l/min.

Das durchschnittliche maximale Atemvolumen der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 24 und Tabelle I dargestellt.

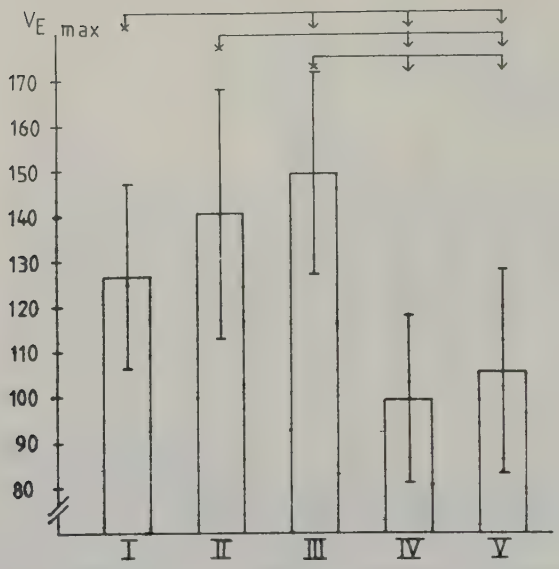

Abb. 24: Maximales Atemminutenvolumen (VE_{max}) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der VE_{max} in l/min mit Standardabweichungen
N siehe "P" in Tabelle I

6. Systolischer Blutdruck

a) eine Minute vor Belastung

b) eine Minute nach Belastung

Die Reaktion des systolischen Blutdrucks auf die Belastung war bei den einzelnen Gruppen sehr verschieden. Die Langstreckenläufer (Gr. I) zeigten eine Zunahme von durchschnittlich 119 mm Hg vor auf 185 mm Hg nach Belastung. Die Radfahrer (Gr. III), die nach Belastung mit durchschnittlich 180 mm Hg fast den gleichen Wert wie die Langstreckenläufer aufzeigten, verzeichneten jedoch nur eine Zunahme von 36 mm Hg.

Der durchschnittliche systolische Blutdruck der einzelnen Gruppen mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden ist in Abbildung 25 (eine Minute vor Belastung) und Tabelle II bzw. Abbildung 26 (eine Minute nach Belastung) und Tabelle II dargestellt.

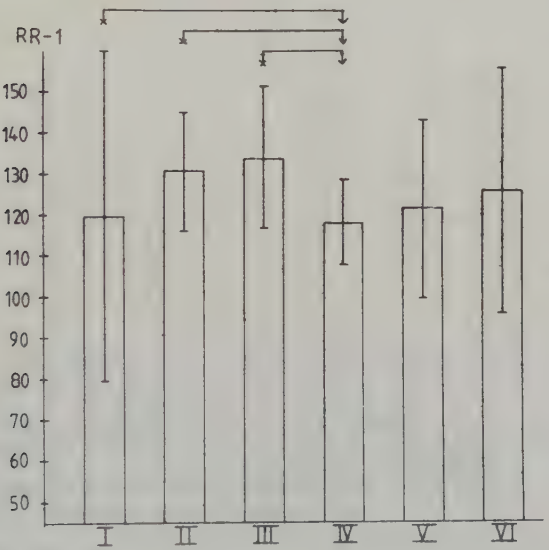

Abb. 25: Systolischer Blutdruck eine Minute vor Belastung (RR -1) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der RR -1 in mm Hg mit Standardabweichungen
N siehe "RR -1" in Tabelle II

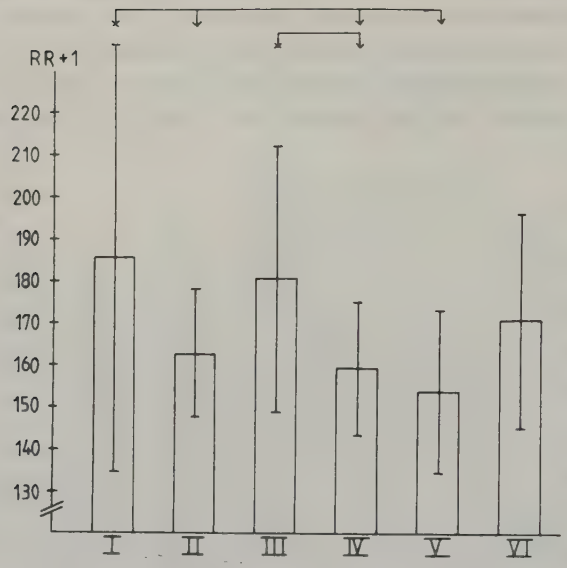

Abb. 26: Systolischer Blutdruck eine Minute nach Belastung (RR +1) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der RR +1 in mm Hg mit Standardabweichungen
N siehe "RR +1" in Tabelle II

7. Änderung des Lactat-Spiegels im arteriellen Blut durch die Belastung

Die größte Zunahme zeigten die Radfahrer (Gr. III) mit durchschnittlich 8,45 mmol/l, die geringste die Fußballspieler (Gr. IV) mit 5,02 mmol/l.

Die durchschnittlichen Änderungen des Lactat-Spiegels mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden sind in Abbildung 27 und Tabelle II dargestellt.

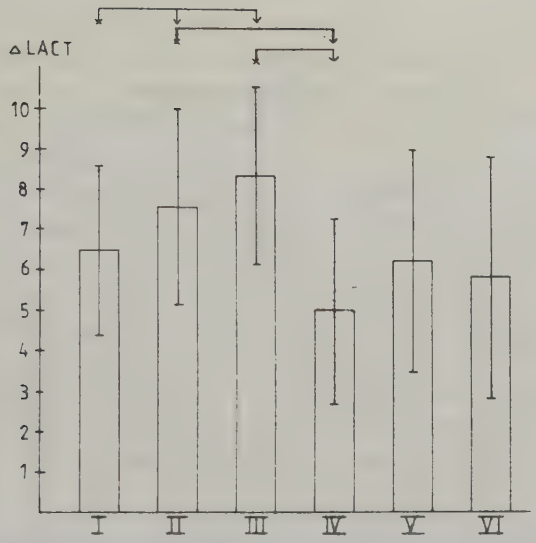

Abb. 27: Änderung des Lactat-Spiegels durch die Belastung (△ LACT) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis VI
Ordinate: Mittelwerte der △ LACT in mmol/l mit Standardabweichungen
N siehe "△ LACT" in Tabelle II

8. Änderung des pH-Wertes im arteriellen Blut durch die Belastung

Die größte Abnahme des pH-Wertes wiesen mit durchschnittlich 0,24 die Radfahrer (Gr. III) auf, die geringste mit einem Durchschnittswert von 0,16 die Langstreckenläufer (Gr. I).

Die durchschnittlichen Änderungen des pH-Wertes mit Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschieden sind in Abbildung 28 und Tabelle II dargestellt.

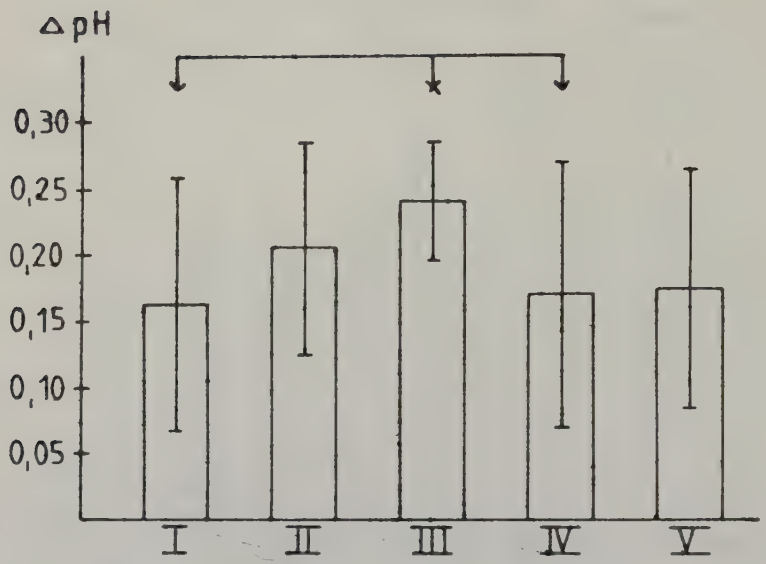

Abb. 28: Änderung des pH-Wertes durch die Belastung (△ pH) der einzelnen Gruppen
Abszisse: Gruppe I bis V
Ordinate: Mittelwerte der △ pH mit Standardabweichungen
N siehe "△ pH" in Tabelle II

3.2. Einfluß von Lebensalter, anthropometrischen Daten und Training auf die Durchblutung

3.2.1. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und dem Lebensalter

1. Ruhedurchblutung

Bei der statistischen Überprüfung ergab sich kein Zusammenhang zwischen der Ruhedurchblutung des linken Beines bzw. des linken Armes und dem Lebensalter.

2. "Peak flow" der reaktiven Hyperämie nach Ischämie
   Es bestand teilweise ein gesicherter Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und dem "peak flow" des linken Beines bzw. des linken Armes. Die Korrelation war ausschließlich positiv und in den in Tabelle III ersichtlichen Gruppen nachweisbar.
3. Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie
   Ein Zusammenhang zwischen der Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie und dem Lebensalter konnte nur bei den Gewichthebern (Gr. VI) nachgewiesen werden. Er war negativ für das linke Bein ($p \leq 0{,}05$) und den linken Arm ($p \leq 0{,}05$) vorhanden.

Tabelle III: Korrelation zwischen dem "peak flow" des linken Beines bzw. des linken Armes und dem Lebensalter der einzelnen Gruppen

	Lebensalter				
	Gr.II	Gr.III	Gr.IV	Gr.V	Gr.VI
"peak flow" des linken Beines	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$	-	$p \leq 0{,}05$
"peak flow" des linken Armes	-	-	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$	-

3.2.2. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und den anthropometrischen Daten

Es bestand bei den Radfahrern (Gr. III) und den Kurz- und Mittelstreckenläufern (Gr. V) eine negative Korrelation zwischen der Ruhedurchblutung des linken Beines und dem Körpergewicht ($p \leq 0{,}05$).

3.2.3. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und dem Trainingsumfang

Es zeigte sich lediglich ein positiver Zusammenhang zwischen dem Trainingsalter in Jahren und der Ruhedurchblutung

des linken Armes für die Langstreckenläufer (Gr. I, $p \leq 0{,}05$).

3.2.4. Korrelation zwischen den Durchblutungswerten und den Parametern des Trainings- und Leistungszustandes

Ein ausschließlich negativer Zusammenhang ließ sich bei den Radfahrern (Gr. III) und ein ausschließlich positiver bei den Kurz- und Mittelstreckenläufern (Gr. V) nachweisen. Die einzelnen Korrelationen sind für die Radfahrer in Tabelle IV und für die Kurz- und Mittelstreckenläufer in Tabelle V aufgeführt.

Ein Zusammenhang zwischen den Durchblutungswerten und der maximalen Lactat- bzw. pH-Differenz fand sich nur für den "peak flow". Die Korrelation war ausschließlich negativ und in den in Tabelle VI aufgeführten Gruppen nachweisbar.

Tab. IV: Korrelationen zwischen der Ruhedurchblutung bzw. dem "peak flow" des linken Beines und der maximalen Leistung ($Watt_{max}$), dem maximalen Atemminutenvolumen (VE_{max}), der maximalen O_2-Aufnahme (O_{2max}) sowie dem maximalen O_2-Puls der Radfahrer (Gr. III).
Die Korrelationen sind ausschließlich negativ.

	$Watt_{max}$	VE_{max}	O_{2max}	$O_2\text{-}Puls_{max}$
Ruhedurchbl. d. l. Beines	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$	-	-
"peak flow" des linken Beines	-	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$	$p \leq 0{,}05$

Tab. V: Korrelationen zwischen dem "peak flow" des linken Beines bzw. des linken Armes und der maximalen Leistung, der PWC_{170}, dem maximalen Atemminutenvolumen, der maximalen O_2-Aufnahme sowie dem maximalen O_2-Puls der Kurz- und Mittelstreckenläufer (Gr. V).
Die Korrelationen sind ausschließlich positiv.

	$Watt_{max}$	PWC_{170}	VE_{max}	O_{2max}	O_2-$Puls_{max}$
"peak flow" des linken Beines	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$
"peak flow" des linken Armes	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$

Tab. VI: Korrelationen zwischen dem "peak flow" des linken Beines bzw. des linken Armes und der maximalen Lactat- bzw. pH-Differenz bestimmter Gruppen.
Die Korrelationen sind ausschließlich negativ.

	Δ Lactat	Δ pH
"peak flow" des linken Beines	Gr. V, $p \leq 0,05$	Gr. IV, $p \leq 0,05$ Gr. V, $p = 0,05$
"peak flow" des linken Armes	Gr.II, $p \leq 0,05$ Gr. V, $p \leq 0,05$	Gr. V, $p \leq 0,05$

4. DISKUSSION

4.1. Kritik der Methode

Durchblutungsmessungen an den Extremitäten mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie haben eine Fehlerbreite von 10 bis 15 %. Es sind vor allem apparativ bedingte Fehler und solche, die bei der Auswertung entstehen. Im wesentlichen sind sie durch die Schwierigkeit bedingt, eine exakte Tangente an die Einflußkurve zu legen. Dieses Problem ist besonders groß bei Durchblutungswerten, die mehr als 20 ml/100 ml x min betragen (4,31).
Bei der Bestimmung der Ruhedurchblutung und den Werten der reaktiven Hyperämie wurde auf eine entspannte Lagerung des Probanden sowie auf absolute Ruhe und weitgehend gleichbleibende Temperatur im Raum geachtet. Die ermittelten Ergebnisse lagen innerhalb des in der Literatur angegebenen Rahmens (6,23,47,70,77).

4.2. Literaturübersicht

Über das Verhalten der Muskeldurchblutung unter Trainingseinflüssen liegen in der Literatur zahlreiche Untersuchungsergebnisse vor. Elsner und Carlson (22) fanden bei Langläufern eine geringere Unterschenkeldurchblutung nach einer Ergeometerbelastung als bei Untrainierten. Caesar et al. (9) untersuchten den Einfluß eines zwölfwöchigen isometrischen Trainings auf die Unterarmmuskulatur und fanden nach der sechsten Woche eine Reduktion sowohl der Arbeitshyperämie am trainierten Arm als auch eine Reduktion der Mehrdurchblutung nach dreiminütiger Ischämie im trainierten Arm im Gegensatz zur nicht trainierten Extremität; die Ruhedurchblutung änderte sich nicht. In anderen Arbeiten berichten Caesar et al. (10,11) über eine Zunahme der Ruhedurchblutung des Unterarmes durch isometrisches Muskeltrai-

ning. Philippi et al. (61,62) fanden nach einem fünfwöchigen, täglichen dynamischen Training der Greifmuskulatur der rechten Hand eine Abnahme der Muskeldurchblutung nach maximaler und submaximaler Arbeit sowie eine Steigerung der Muskeldurchblutung des Unterarmes nach Arbeit nach einem fünfwöchigen statischen Krafttraining. Treumann und Schröder (78,80) beobachteten eine geringere Muskeldurchblutung nach Arbeit im Unterschenkel und Unterarm der Trainierten gegenüber den Untrainierten; die Durchblutungswerte der Trainierten kehrten nach Arbeitsende wieder schneller zum Ausgangswert zurück, die Ruhedurchblutungswerte zeigten keinen Unterschied. Die gleichen Ergebnisse bezüglich der Ruhedurchblutung erhoben Grimby et al. (32). Horstschäfer (39) verglich die Ruhedurchblutung und die Durchblutung nach Ergometerarbeit des Unterschenkels von Untrainierten mit den entsprechenden Werten von Trainierten. Es zeigte sich für die Ruhedurchblutung kein signifikanter Unterschied; die Durchblutung eine Minute nach Arbeitsende war bei den Trainierten jedoch um im Mittel 50 % geringer als die der Untrainierten und kehrte auch schneller wieder zu den Ruhedurchblutungswerten zurück. Dreisbach et al. (20) fanden eine Verminderung der Nachbelastungshyperämie als Folge eines zwölf- bis vierzehnwöchigen Ausdauertrainings. De Marées und K. Barbey (55) untersuchten den Einfluß eines achtwöchigen Laufbandtrainings und fanden keine Änderung der Ruhedurchblutung und der reaktiven Hyperämie nach Ischämie, dagegen eine Zunahme der maximalen Durchblutung nach arterieller Drosselung und Fußarbeit.
Außer de Marées und Barbey (55), die ihre Ergebnisse durch eine Abnahme des peripheren Strömungswiderstandes während der Arbeit in Ischämie und eine eventuell trainingsbedingte anatomische Vergrößerung des Gefäßbettes im Arteriolen- und Kapillarbereich deuteten, erklärten alle anderen zitierten Autoren, ebenso wie Knauf und Schröder (45,71), die trainingsbedingten Veränderungen mit einer Verbesserung der aeroben Kapazität infolge Zunahme der Mitochondrienmasse und -zahl, einer Zunahme der lokalen Energiedepots, einer Ver-

besserung der Koordination und einer Drosselung der Durchblutung nicht tätiger Muskelareale zugunsten einer Zunahme der Durchblutung der tätigen Areale (15,36,37,79). Kroese kam in Querschnittsstudien zu anderen Ergebnissen (48,49, 50,51,52). Er verglich die Durchblutungswerte von Untrainierten und Langstreckenläufern, die zwei bis fünf Jahre trainiert hatten, in verschiedenen Altersgruppen. Er fand in der Ruhedurchblutung keinen Unterschied. Der "peak flow" nach dreiminütiger Ischämie der 25- und 58jährigen Langstreckenläufer war jedoch signifikant höher als der entsprechende Wert der Untrainierten. Bei 13jährigen fand sich kein Unterschied. Er nahm eine vermehrte Vaskularisierung der trainierten Muskulatur (2,7) sowie einen höheren Anteil roter Muskelfasern, die im Gegensatz zu den weißen Fasern eine größere Kapillarisierung zeigen, als Ursache an (5,29, 66).

Seine Erklärungen fanden Unterstützung durch die Analyse des Durchblutungsverhaltens einer ruhiggestellten Extremität im Vergleich zur nicht immobilisierten der gleichen Versuchsperson (48). Der "peak flow" nach Ischämie der ruhiggestellten Extremität war signifikant geringer. Außerdem ergab sich eine signifikante Abnahme des peak flow mit der Dauer der Ruhigstellung. Kroese erklärt dies mit der durch die Immobilisation bedingten Atrophie. Da Muskelatrophie die Muskeldurchblutung reduziert, Training jedoch zur Muskelhypertrophie führt, schloß er, daß durch die trainingsbedingte Hypertrophie auch die Durchblutung verbessert, das heißt zunehmen müsse.

Die Höhe der Muskeldurchblutung wird jedoch nicht nur von lokalen Faktoren, sondern auch von zentralen Einflüssen bestimmt (8). So beobachtete Schröder (71) eine Steigerung der Ruhedurchblutung auf 20 ml/100 ml x min durch zentrale Impulse, z.B. durch Auslösung eines Affektes. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Golenhofen et al. (27,28). Folkow et al. (25) und Abrahams et al. (1) sowie Schröder et al. (72) konnten in Tierversuchen über eine direkte Reizung im Bereich des Hypothalamus und des Mittelhirns je nach Ort der

Reizung eine Zunahme bzw. Abnahme der Muskeldurchblutung erzielen. Stein (74) fand spontane periodische Druckschwankungen in der terminalen Strombahn, für deren Entstehung in erster Linie zentral-nervöse Steuerungsmechanismen in Betracht kommen.

Über eine Beeinflussung dieser zentralen Kreislaufregulationsmechanismen durch Training berichteten Clausen et al. (14) sowie Rost et al. (68), die neben den lokalen Veränderungen in der Muskulatur auch zentrale Kreislaufadaptationen für die trainingsbedingte Reduzierung der Muskeldurchblutung verantwortlich machten. Clausen et al. (13) untersuchten den Einfluß von selektivem Arm- bzw. Beintraining unter anderem auf die Herzfrequenz. Eine trainingsbedingte Reduktion der Herzfrequenz zeigte sich bei der Gruppe, die fünf Wochen lang nur Armtraining betrieb, bei Armarbeit, nicht jedoch bei Beinarbeit. Bei der Gruppe mit selektivem Beintraining war die Reduktion auch bei Armarbeit zu verzeichnen. Clausen et al. schlossen daraus, daß für die durch das Armtraining bedingte Herzfrequenzreduktion primär lokale Adaptationen verantwortlich sind, während Beintraining vorwiegend zentrale Kreislaufadaptationen bewirkt.

Der Einfluß des Alters auf die Ruhedurchblutung und die reaktive Hyperämie nach Ischämie wurde bisher nur von wenigen Autoren untersucht. Kroese (49) fand für Jugendliche und Erwachsene keine Altersabhängigkeit. Obwohl der periphere Widerstand mit dem Alter anstieg, wurde nach seiner Auffassung eine zu erwartende Abnahme der Durchblutung durch einen mit dem Alter ansteigenden mittleren Blutdruck kompensiert (24).

Im Gegensatz dazu stellten Romanovská und Prérovský (67) eine Zunahme der Ruhedurchblutung und der reaktiven Hyperämie nach Ischämie mit dem Alter fest. Sie berechneten sowohl in Ruhe als auch bei Hyperämie nach Ischämie einen signifikant höheren Gefäßwiderstand bei 29jährigen gegenüber 49jährigen; der mittlere Blutdruck zeigte keinen Unterschied. In diesem unterschiedlichen Gefäßwiderstand sahen sie die Ursache für die Zunahme der Durchblutung mit

dem Alter. Eine Erklärung boten auch Untersuchungen von Moret (58), der eine Zunahme der Dehnbarkeit der arteriellen Gefäßwand mit dem Alter nachwies. Wesentlich ist jedoch, daß keine arteriosklerotischen Veränderungen der arteriellen Gefäße vorlagen. Dies haben Romanovská und Prérovský in ihrem Kollektiv berücksichtigt und sie erklären damit auch die Diskrepanz ihrer Ergebnisse zu denen von Kroese.
Diese zum Teil divergierenden Befunde machen deutlich, daß verschiedenste Faktoren für eine Änderung der Durchblutung durch Training verantwortlich sind. Sowohl Qualität und Quantität des Trainings und damit spezifisch lokale muskuläre Adaptationen als auch zentrale Umstellungen der Kreislaufregulation wie auch Alterseinflüsse müssen Berücksichtigung finden. Selbst regressive Veränderungen, gerade bei Älteren, sind zu diskutieren.
Da diese verschiedenen Einflüsse gleichzeitig auf die Muskeldurchblutung einwirken, sich dabei zum Teil verstärken, zum Teil aufheben können, ist es notwendig, bei der Analyse von Durchblutungsdaten sämtliche Faktoren auf ihre Wertigkeit hin zu überprüfen.
Es war deshalb das Ziel dieser Querschnittsstudie, dominierende Einflüsse bei unterschiedlich trainierenden Kollektiven in verschiedenen Lebensaltern aufzudecken. Im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen wurde die obere und die untere Extremität berücksichtigt, wobei lokalisierte Trainingsadaptationen deutlicher werden sollten.

4.3. Diskussion der Ergebnisse

4.3.1. Einfluß des Lebensalters

1. Ruhedurchblutung
   Eine Abhängigkeit der Ruhedurchblutung konnte nicht beobachtet werden. Es bestätigen sich die Ergebnisse in

der Literatur. Die mit venenverschlußplethysmographischen Methoden bestimmte Ruhedurchblutung einer Gliedmaße als Summe von Haut- und Muskeldurchblutung ist aufgrund der komplexen, beide Areale unter Umständen divergierend bestimmenden Mechanismen wenig geeignet, Veränderungen nur der muskulären Durchblutung aufzudecken. (6,21,27,28,30,70,71,82).

2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie

Wie unsere Ergebnisse an Trainierenden im Alter von minimal 14 bis maximal 47 Jahren zeigten, muß der Alterseinfluß im Bereich vom 14. bis zum 31. Lebensjahr berücksichtigt werden. Selbst in zahlenmäßig gering besetzten Gruppen war bei der Überprüfung der Beziehung zwischen dem "peak flow" der reaktiven Hyperämie und dem Lebensalter ein Zusammenhang nachweisbar. Die Korrelation war ausschließlich positiv und zeigte sich bei den mit im Durchschnitt 15,2 Jahren jüngsten Fußballspielern an Armen und Beinen. Die Ruderer mit einem Durchschnittsalter von 17,5 Jahren, die Radfahrer mit 17,9 und die Gewichtheber mit 18,8 Jahren wiesen eine Abhängigkeit nur an Beinen und die durchschnittlich 19,6 Jahre alten Kurz- und Mittelstreckenläufer nur an den Armen auf. Die Fußballspieler hatten den geringsten Trainingsumfang, was sich auch in den niedrigsten Parametern der Leistungsfähigkeit aller Gruppen widerspiegelte. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß bei ihnen der Alterseinfluß über den Trainingseinfluß dominierte. Bei den anderen Sportarten sind vermutlich unterschiedliche Trainingsadaptationen in Arm- bzw. Beinmuskulaturen für fehlende Korrelation verantwortlich zu machen.

Bei den Langstreckenläufern mit einer großen Spannbreite des Alters (21 bis 47 Jahre) war weder für das Bein noch für den Arm eine Korrelation nachweisbar. Möglicherweise spielen hier die im Vergleich zu den anderen Gruppen lange Trainingsdauer von durchschnittlich 6,1 Jahren und die unterschiedlichen Trainingsquantitäten in dieser Gruppe, wobei die Häufigkeit von einer bis neun Stunden

pro Woche schwankte, die bestimmende Rolle. Auch sind beginnende regressive Gefäßveränderungen gerade bei den Älteren nicht auszuschließen.
Eine Abhängigkeit der Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie vom Lebensalter zeigte sich nicht. Ob dieser nach unserem Wissen neu eingeführte Parameter als Charakteristikum des Durchblutungsverhaltens verwendet werden kann, muß bislang offenbleiben. Die erheblichen Streubreiten bei unseren Untersuchungen können durch zentrale Adaptationen, durch Blutumverteilungen in der Peripherie und durch differierende, vermutlich gedämpft rhythmische Anpassungen des Gefäßsystems bedingt sein. Außerdem ist aus apparativen Gründen eine Durchblutungsmessung nur in Abständen von zehn Sekunden möglich, so daß die Kurve den tatsächlichen Verlauf nur unvollständig wiedergeben kann (vgl. Abbildung 11).

4.3.2. Einfluß der Trainingsqualität

1. Ruhedurchblutung
Die Ruhedurchblutung war in unseren unterschiedlich trainierenden Gruppen statistisch nicht signifikant verschieden. Tendenziell ließen sich aber bei den Sportarten, bei denen ein intensives statisch-dynamisches Krafttraining der Arme durchgeführt wird (Rudern, Gewichtheben), höhere Durchblutungswerte in Ruhe ermitteln, so daß eine gewisse Bestätigung der Ergebnisse von Caesar et al. gegeben ist. Wie bereits erwähnt, stellten Caesar et al. nach isoliertem, isometrischem Muskeltraining des Unterarmes eine erhöhte Ruhedurchblutung fest (10,11).
Ungeklärt bleibt, weshalb eine ähnliche Tendenz an der Beinmuskulatur nicht nachweisbar war. Hier zeigten die Gewichtheber als reine Kraftathleten sogar die niedrigsten Werte.

2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie

Bei der reaktiven Hyperämie nach Ischämie wiesen die Langstreckenläufer als Gruppe mit einem rein aeroben Ausdauertraining gegenüber den Kurz- und Mittelstreckenläufern, den Radfahrern und Ruderern eindeutig die höchsten Werte am Bein auf; allerdings nicht gegenüber den Gewichthebern. Bei den Sportarten, die sowohl ein aerobes als auch ein anaerobes Ausdauertraining betrieben, waren die Durchblutungswerte des Beines trotz unterschiedlicher Parameter der aeroben und anaeroben Kapazität identisch (Kurz- und Mittelstreckenläufer, Ruderer, Radfahrer).

Daraus ist zu folgern, daß auf der einen Seite das reine aerobe Ausdauertraining der Langstreckenläufer für deren Durchblutungszunahme verantwortlich ist - andererseits kann das dynamisch-statische Krafttraining der Beinmuskulatur bei den Gewichthebern ebenso eine vermehrte Durchblutung nach Ischämie zur Folge haben.

Letzteres stimmt mit den Ergebnissen von Philippi et al. überein, die nach einem fünfwöchigen statischen Krafttraining eine Steigerung der Muskeldurchblutung nach Arbeit registrierten (62). Bei den Fußballspielern mit ebenfalls aerober und anaerober Ausdauerbelastung und den geringsten Anpassungen der aeroben und anaeroben Kapazität aller Gruppen wurden die niedrigsten Werte gemessen, so daß man die Ergebnisse dieser Gruppen eher dem Aspekt des Trainingsumfanges als der Qualität des Trainings zuordnen muß.

Da bei den Langstreckenläufern ebenso wie bei den Kurz- und Mittelstreckenläufern, den Fußballspielern und den Radfahrern das Beintraining im Vordergrund steht, sollten sich bei den Durchblutungswerten der reaktiven Hyperämie nach Ischämie am Arm keine nennenswerten Differenzen zeigen. Jedoch zeigten auch hier die Langstrekkenläufer höhere Werte im Vergleich mit den anderen Gruppen. Bei den Ruderern und Gewichthebern, also den beiden Gruppen mit Kraft- bzw. Kraftausdauerbelastung

der Armmuskulatur, fanden sich die höchsten Werte. Während also die Ergebnisse bei den Ruderern und Gewichthebern mit denen von Philippi et al. (49) übereinstimmen und auf lokalen Veränderungen in der Muskulatur beruhen dürften, ist aus den unterschiedlichen Durchblutungswerten der Arme bei den Gruppen mit ähnlicher Trainingsbelastung zu folgern, daß nicht nur lokale, sondern auch zentrale Kreislaufadaptationen das Verhalten der reaktiven Hyperämie nach Ischämie beeinflussen. Dies wird unterstützt durch den Vergleich des "peak flow" des Armes mit dem des Beines. Bei den Langstreckenläufern und den Fußballspielern sind die Werte fast identisch. Es liegt somit eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Clausen et al. vor, die bei einer Gruppe mit selektivem Beintraining die trainingsbedingten Veränderungen auch bei Arbeit mit der nicht trainierten oberen Extremität nachweisen konnten - ein Zeichen, daß nicht nur rein lokale, sondern vor allem zentrale Adaptationen für die Veränderungen verantwortlich sind (79).
Ein Zusammenhang zwischen der Trainingsqualität und der Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie war nicht nachzuweisen.

4.3.3. Einfluß der Trainingsquantität

1. Ruhedurchblutung
   Beziehungen zwischen der Ruhedurchblutung und der Quantität des Trainings ergaben sich nur bei den Langstrekkenläufern. Es zeigte sich eine Abhängigkeit von der Trainingsdauer in Jahren. Da sich diese positive Korrelation nicht für trainierte Beine, sondern nur für nicht trainierte Arme zeigte, ist eine zentrale Adaptation als Ursache anzusehen.
2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie
   Beziehungen zwischem dem "peak flow" bzw. der Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie und der Trai-

ningsquantität konnten weder für Arme noch für Beine nachgewiesen werden.

4.3.4. Einfluß der objektiven Leistungsparameter

1. Ruhedurchblutung
   Die Ruhedurchblutung zeigte lediglich bei den Radfahrern eine Abhängigkeit von der maximalen Leistung in Watt und vom maximalen exspiratorischen Volumen. Die Korrelation war negativ und nur für Beine nachweisbar. Sie ist vielleicht ein Hinweis dafür, daß nur ein optimaler Trainings- und Leistungszustand mit einer Reduzierung der Ruhedurchblutung einhergeht. Die Radfahrer wiesen bezüglich der Leistungsparameter und der Parameter der aeroben und anaeroben Kapazität die höchsten Werte aller Gruppen auf.

2. Reaktive Hyperämie nach Ischämie
   Beziehungen zwischen dem "peak flow" und Parametern der aeroben Kapazität fanden sich bei den Radfahrern und den Kurz- und Mittelstreckenläufern. Die Korrelation war bei den Radfahrern negativ und nur für Beine nachweisbar. Bei den Kurz- und Mittelstreckenläufern war sie positiv und zeigte sich für Arme und Beine. Tendenziell war ein positiver Zusammenhang jedoch auch bei allen anderen Gruppen zu finden, selbst für die Werte der Arme bei den Radfahrern. Diese Ergebnisse werden durch zentrale Adaptationen mit zunehmendem Leistungsstand und zum Teil konträren Veränderungen durch spezifische lokale Trainingsanpassungen in der Peripherie erklärbar.
   Bei der Analyse der Korrelationen zwischen den Durchblutungswerten nach Ischämie und den Parametern der anaeroben Kapazität zeigte sich ein Zusammenhang nur bei den Gruppen, die eine geringe aerobe Kapazität aufweisen. Bei den Gruppen mit hoher aerober und anaerober Kapazität war kein Zusammenhang nachweisbar. So ist die negative Korrelation bei den Fußballspielern (nur für

das Bein) und den Kurz- und Mittelstreckenläufern (für Arm und Bein) durch deren unzureichende lokale Trainingsadaptation zu erklären. Dadurch ist die Muskulatur nicht in der Lage, eine größere Menge O_2 zu utilisieren (meßbar in den geringen Daten der aeroben Kapazität), sondern muß die notwendige Energie zum großen Teil anaerob zur Verfügung stellen.
Unter Berücksichtigung aller Teilfaktoren ergibt sich, daß die trainingsbedingte Veränderung der Muskeldurchblutung sowohl durch lokale Adaptationen in der Muskulatur als auch durch zentrale Kreislaufumstellungen bedingt ist. Dabei dürfte das Krafttraining vor allem lokale Reaktionen zur Folge haben, während lokales und allgemeines Ausdauertraining neben der lokalen auch zentrale Veränderungen der Kreislaufregulation nach sich zieht. Das Lebensalter ist als ein Grundfaktor anzusehen; ohne Trainingseinflüsse und vor allem ohne regressive Gefäßveränderungen nimmt dabei die Muskeldurchblutung mit steigendem Lebensalter zu.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Bei 100 Sportlern wurde der Einfluß der Trainingsqualität und -quantität sowie des Lebensalters auf die Muskeldurchblutung untersucht. Es waren die Disziplinen Langstreckenlauf (n = 23), Rudern (n = 29), Radfahren (n = 14), Fußball (n = 20), Kurz- und Mittelstreckenlauf (n = 8) und Gewichtheben (n = 6) vertreten. Der Trainingszustand wurde anhand spiroergometrischer Parameter ermittelt. Parameter der Trainingsquantität waren das Trainingsalter in Jahren sowie die Trainingsstunden und die Trainingshäufigkeit pro Woche. Mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie wurden folgende Durchblutungswerte des linken Armes und des linken Beines gemessen: Ruhedurchblutung, "first flow" und "peak flow" der reaktiven Hyperämie nach dreiminütiger Ischämie. Außerdem wurde die Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie graphisch ermittelt und der systolische Blutdruck eine Minute vor und eine Minute nach Belastung bestimmt.

1. Wie aus der Literatur bekannt konnten auch wir keine Änderung der Ruhedurchblutung durch Training oder Lebensalter nachweisen.

2. Der "peak flow" der reaktiven Hyperämie nach Ischämie stieg mit zunehmendem Lebensalter an; Voraussetzungen waren ein nur geringes Training und vor allem keine regressiven Gefäßveränderunge.

3. Krafttraining bewirkte eine Zunahme des "peak flow".

4. Ausdauertraining hatte sowohl lokale Veränderungen der Muskeldurchblutung als auch zentrale Kreislaufadaptationen zur Folge.

5. Die Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie war ähnlich wie die Ruhedurchblutung von zu vielen verschiedenen Faktoren abhängig, um als Parameter der Muskeldurchblutung optimal dienen zu können.

6. TABELLEN

Tabelle I (Seite 54 bis 60):
Lebensalter, anthropometrische Daten, Trainingsumfang, spiroergometrische Daten.

Gr. I : Gruppe I (Langstreckenläufer)
Gr. II : Gruppe II (Ruderer)
Gr. III: Gruppe III (Radfahrer)
Gr. IV : Gruppe IV (Fußballspieler)
Gr. V : Gruppe V (Kurz- und Mittelstreckenläufer)
Gr. VI : Gruppe VI (Gewichtheber)

A: Lebensalter in Jahren
B: Körpergröße in cm
C: Körpergewicht in kg
D: Gesamtkörperfettgehalt in Prozent des Körpergewichtes
E: Trainingsalter in Jahren
F: Trainingsstunden pro Woche
G: Trainingshäufigkeit pro Woche
H: Maximale Leistung auf dem Laufband in km/h (Gruppe I) bzw. maximale Leistung auf dem Fahrradergometer in Watt (Gr. II bis VI)
I: Maximale Leistung auf dem Fahrradergometer in Watt/kg (Gr. II bis VI)
K: PWC_{170} der Gruppen II bis VI in Watt/kg
L: Maximale Sauerstoffaufnahme in Litern pro Minute
M: Maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht
N: Maximaler Sauerstoffpuls in ml
O: Maximaler Sauerstoffpuls pro kg Körpergewicht
P: Atemminutenvolumen in Litern pro Minute
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

Tabelle II (Seite 60 bis 66):
Herzfrequenz, systolischer Blutdruck, Δ pH und Δ Lactat, Durchblutungswerte

HF : Maximale Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

RR -1 : Systolischer Blutdruckwert eine Minute vor Belastung in mm Hg

RR +1 : Systolischer Blutdruckwert eine Minute nach Belastung in mm Hg

Δ pH : Maximale pH-Differenz aus pH vor und pH eine bzw. drei Minuten nach Belastung

Δ LACT: Maximale Lactat-Differenz (entsprechend der Bestimmung der maximalen pH-Differenz) in mmol pro Liter

RUHE : Ruhedurchblutung des linken Beines (Spalte 6) bzw. des linken Armes (Spalte 10) in ml/100 ml x min

FF : first flow der reaktiven Hyperämie nach Ischämie des linken Beines (Spalte 7) bzw. des linken Armes (Spalte 11) in ml/100 ml x min

PF : peak flow der reaktiven Hyperämie nach Ischämie des linken Beines (Spalte 8) bzw. des linken Armes (Spalte 12) in ml/100 ml x min

HWZ : Halbwertszeit der reaktiven Hyperämie nach Ischämie des linken Beines (Spalte 9) bzw. des linken Armes (Spalte 13) in Sekunden.

$\bar{x}$: Mittelwert

s : Standardabweichung

Tabelle I: Lebensalter, anthropometrische Daten, Trainingsumfang, spiroergometrische Daten

Gr. I	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
W.B.	47	171	63	10	8	7	5	12	-	12	3,3	52	19,5	0,31	112
R.B.	39	184	74	12	3	1	1	12	-	12	4,0	54	21,6	0,29	155
O.G.	41	180	81	13	3	1	1	16	-	16	4,2	51	25,9	0,32	119
M.W.	21	178	74	11	1	1	1	10	-	10	2,6	35	15,4	0,21	61
H.C.	39	172	56	6	1	3	2	18	-	12	3,3	58	17,3	0,31	104
W.F.	42	184	66	8	6	3	3	16	-	12	3,5	52	18,4	0,27	125
A.H.	40	179	82	12	7	3	2	16	-	12	4,8	58	25,8	0,31	142
A.K.	34	173	67	6	10	3	3	12	-	12	4,4	65	22,5	0,32	152
H.B.	35	179	66	6	3	5	3	16	-	10	4,2	64	21,7	0,33	147
R.M.	38	170	78	20	2	2	1	12	-	10	3,3	42	18,6	0,24	114
R.B.	38	180	68	6	20	2	2	16	-	16	3,9	56	21,9	0,31	124
W.S.	32	172	68	10	3	1	1	14	-	12	4,0	59	22,2	0,33	106
S.B.	46	174	72	11	4	1	1	14	-	12	3,6	50	21,7	0,30	119
R.K.	40	181	85	25	15	1	1	16	-	14	4,2	49	23,6	0,28	141
K.G.	43	172	63	10	7	3	2	16	-	10	3,4	36	18,9	0,30	134
K.H.	43	179	80	11	10	2	2	16	-	14	4,1	51	23,6	0,29	141
U.D.	40	180	67	6	12	10	7	18	-	18	4,4	66	23,0	0,34	135
W.M.	34	164	72	14	3	2	3	14	-	14	3,5	53	23,4	0,33	143
K.S.	39	177	65	6	4	10	8	20	-	14	4,6	71	23,1	0,36	131
G.R.	45	172	81	11	6	2	2	14	-	12	4,1	50	21,9	0,27	128
W.M.	30	186	77	6	7	18	9	20	-	16	4,7	60	26,5	0,34	145

Tabelle I: Fortsetzung

Gr. I	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
R.R.	43	166	68	21	2	3	3	14	-	12	3,0	43	18,9	0,28	123
S.S.	44	171	73	14	4	1	2	14	-	12	3,6	49	19,7	0,27	112
$\bar{x}$	38,8	175,8	71,6	5,8	6,1	3,6	2,8	-	-	-	3,9	53,2	21,5	0,30	126,7
s	5,8	4,2	6,5	3,6	4,7	4,0	2,3	-	-	-	0,6	9,1	2,8	0,03	20,5

Gr. II	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
J.K.	17	182	66	3	2	8	7	350	5,3	3,0	4,0	60	22,8	0,35	146
C.H.	19	178	74	8	5	10	7	350	4,7	2,7	4,4	60	22,8	0,31	178
G.K.	15	177	68	20	1	10	8	300	4,4	3,0	3,4	50	17,9	0,26	145
H.L.	18	191	81	7	3	10	7	450	5,6	3,5	4,7	58	25,4	0,31	183
A.S.	18	185	83	13	2	12	7	400	4,9	3,0	4,7	58	23,5	0,29	155
V.F.	15	172	65	14	1	9	6	300	4,6	2,6	3,5	54	17,2	0,27	122
U.W.	18	177	78	20	1	6	6	300	3,9	2,3	3,2	41	16,7	0,22	102
S.H.	17	167	56	7	1	8	4	250	4,5	2,5	2,3	41	12,1	0,22	98
S.S.	17	164	62	30	1	9	6	250	4,0	2,2	2,9	47	15,4	0,25	96
A.S.	18	165	57	6	1	10	6	250	4,4	2,0	2,7	47	13,3	0,23	116
E.S.	18	167	58	10	2	12	6	250	4,3	2,8	2,6	45	14,0	0,24	91
U.B.	16	193	75	7	3	6	5	350	4,7	2,9	4,1	55	20,2	0,27	136
J.K.	16	180	71	15	1	12	6	400	5,6	2,4	3,8	54	18,6	0,26	161

Tabelle I: Fortsetzung

Gr. II	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
M.B.	16	180	72	10	2	14	7	350	4,9	3,2	4,1	57	21,7	0,30	137
T.B.	16	172	68	16	1	10	6	350	5,2	2,7	3,6	53	18,2	0,27	145
R.R.	18	182	73	7	4	11	7	400	5,4	3,4	4,7	62	23,5	0,32	166
J.S.	16	187	76	6	4	11	8	400	5,3	3,0	4,1	55	22,3	0,29	147
R.G.	18	184	70	10	4	12	4	450	6,4	3,4	4,4	63	21,4	0,31	162
A.Ü.	18	182	68	5	2	8	6	450	6,7	4,1	4,5	67	24,0	0,36	182
P.B.	19	172	68	20	5	10	5	350	5,2	3,3	4,4	65	22,2	0,33	177
M.K.	17	177	63	7	3	10	6	300	4,8	3,9	3,7	59	18,9	0,30	107
K.B.	17	178	67	7	3	12	6	300	4,5	2,9	3,3	49	17,2	0,26	112
H.H.	19	182	69	7	3	8	6	400	5,8	3,5	4,1	60	21,2	0,31	160
C.R.	18	181	62	3	4	7	6	400	6,4	3,4	4,0	64	21,4	0,35	131
W.B.	18	179	67	5	4	9	7	350	5,2	2,8	4,2	61	22,0	0,33	114
H.M.	18	185	70	5	4	7	6	350	5,0	3,0	3,9	56	21,3	0,34	161
K.K.	19	182	68	7	2	12	4	350	5,1	3,5	4,2	61	21,2	0,31	168
HD.W.	19	185	72	9	5	11	7	350	4,9	3,2	3,9	54	20,5	0,28	135
R.M.	19	183	76	6	5	10	7	350	4,7	3,0	4,1	55	21,1	0,29	136
$\bar{x}$	17,5	178,9	69,1	5,7	2,7	9,7	6,1	348,3	5,0	-	3,8	55,6	19,9	0,29	140,3
s	1,2	4,3	7,5	4,1	1,4	2,0	1,0	58,9	0,7	-	0,6	6,9	3,3	0,04	27,5

Tabelle I: Fortsetzung

Gr. III	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
P.F.	15	178	58	6	1	14	7	300	5,2	4,2	3,4	59	19,1	0,33	95
U.W.	19	180	71	5	7	14	7	400	5,6	4,1	4,7	65	24,0	0,30	173
G.S.	16	186	82	5	3	11	6	450	5,5	3,1	5,0	61	25,1	0,31	137
P.S.	18	185	75	8	6	18	7	400	5,3	3,2	4,8	63	24,6	0,33	148
J.L.	17	170	67	10	7	12	7	400	6,0	3,9	4,2	63	22,1	0,33	153
P.K.	17	186	82	12	7	11	7	400	4,9	3,8	4,8	58	26,0	0,32	149
U.R.	17	180	63	5	6	10	7	350	5,6	3,7	4,3	67	22,4	0,35	163
W.B.	18	180	66	4	7	14	8	400	6,1	4,1	4,7	72	25,8	0,23	135
H.K.	22	171	64	12	7	14	7	350	5,5	3,5	3,8	52	20,5	0,27	113
L.S.	18	177	67	8	6	13	8	450	6,8	4,1	4,9	73	25,9	0,39	147
P.K.	19	177	64	8	2	14	7	350	5,5	3,9	4,0	63	22,0	0,34	157
K.N.	20	179	69	6	6	4	3	400	5,8	2,9	4,2	51	19,9	0,29	162
T.H.	18	185	74	5	4	15	6	450	6,1	2,8	4,6	63	23,7	0,23	180
J.E.	17	180	66	9	5	6	7	400	6,1	4,3	5,1	77	27,6	0,37	154
$\bar{x}$	17,9	179,6	69,2	6,5	5,3	12,1	6,7	392,9	5,7	-	4,5	64,1	23,5	0,32	149,2
s	1,7	3,5	7,4	2,4	2,0	3,6	1,2	43,2	0,5	-	0,5	6,6	2,6	0,04	22,3

Gr. IV	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
H.K.	27	166	64	7	13	6	3	300	4,7	3,4	3,4	54	19,0	0,26	112

Tabelle I: Fortsetzung

Gr. IV	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
M.A.	14	172	64	10	7	5	3	225	3,5	3,5	3,0	47	17,5	0,27	103
A.R.	15	163	56	10	7	7	4	250	4,5	2,8	2,9	52	14,6	0,26	105
HB.S.	15	173	60	7	5	8	4	300	5,0	4,8	3,4	47	16,7	0,24	117
R.H.	15	163	52	6	7	7	4	225	4,3	3,4	2,7	52	13,9	0,27	88
U.R.	14	168	53	7	7	5	4	250	4,7	3,0	3,1	58	15,9	0,30	114
A.P.	14	166	52	12	3	4	2	300	5,8	4,3	3,6	68	17,8	0,34	139
W.S.	15	168	50	7	3	5	3	250	5,0	3,5	2,8	56	15,3	0,31	100
J.S.	15	179	59	5	7	7	6	300	5,0	3,0	3,1	53	16,4	0,27	106
H.S.	15	169	56	7	6	5	3	250	4,5	3,0	2,8	50	17,0	0,30	103
E.F.	14	169	57	7	4	4	2	225	4,0	3,0	2,3	40	12,0	0,21	89
M.G.	14	169	59	16	7	5	3	225	3,8	2,0	2,5	43	12,9	0,22	74
G.W.	15	152	40	5	4	6	4	200	5,0	3,4	2,0	50	10,4	0,26	68
B.W.	15	152	50	6	4	6	3	200	5,0	3,4	2,3	56	11,9	0,30	75
H.K.	15	163	54	8	2	9	4	225	4,2	3,9	2,6	49	15,3	0,29	85
O.D.	15	171	74	15	4	4	2	225	4,2	3,0	2,6	48	13,2	0,24	83
F.L.	14	170	58	7	3	3	3	250	4,3	3,5	2,9	50	15,6	0,27	86
S.J.	14	170	61	7	4	3	3	250	4,1	2,6	2,9	48	14,5	0,24	107
C.G.	14	170	58	12	7	6	5	250	4,3	3,1	2,7	45	13,9	0,24	109
R.P.	15	169	55	6	8	7	6	300	5,4	3,1	3,2	48	17,2	0,31	128
$\bar{x}$	15,2	167,1	56,6	4,9	5,3	5,8	3,6	250,0	4,6	-	2,8	50,7	15,1	0,27	99,6

Tabelle I: Fortsetzung

s	2,8	3,6	4,1	3,9	2,7	1,5	1,1	33,4	0,6	-	0,4	6,0	2,2	0,03	18,4
Gr. V	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
HJ.M.	31	173	59	3	13	10	8	350	5,9	4,7	3,5	60	20,5	0,36	133
S.L.	14	177	60	12	3	8	4	225	3,8	2,0	2,3	38	11,9	0,21	83
M.M.	27	180	64	5	-	6	3	250	3,9	3,0	2,8	43	15,7	0,24	90
J.S.	18	169	61	10	8	10	5	350	5,6	3,0	4,1	66	19,7	0,32	140
M.O.	17	170	66	4	5	6	6	300	5,4	3,0	3,2	58	16,7	0,30	102
P.S.	19	176	56	3	2	7	6	300	5,4	5,4	3,1	55	18,5	0,33	122
A.B.	14	166	56	10	2	10	5	175	3,1	2,0	2,0	36	10,5	0,19	85
S.M.	17	171	62	13	4	10	5	250	4,0	2,9	2,9	46	15,5	0,25	98
$\bar{x}$	19,6	172,8	60,5	5,1	3,4	8,3	5,3	275,0	4,6	-	3,0	50,3	16,1	0,27	105,8
s	6,1	3,8	5,6	3,5	2,4	1,8	1,5	61,2	1,0	-	0,7	11,0	3,6	0,06	22,6
Gr. VI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
J.S.	20	172	75	9	4	4	8	250	3,3	4,0	-	-	-	-	-
W.B.	19	163	59	10	5	7	4	250	4,2	2,5	-	-	-	-	-
T.M.	19	173	80	10	4	15	5	300	3,8	3,2	-	-	-	-	-
E.S.	19	171	69	8	3	7	3	300	4,4	2,8	-	-	-	-	-

Tabelle I: Fortsetzung

Gr. VI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
W.F.	19	162	60	10	4	4	2	300	5,2	3,8	-	-	-	-	-
E.R.	17	166	63	13	4	13	6	200	3,2	3,4	-	-	-	-	-
$\bar{x}$	18,8	167,7	67,6	5,3	4,0	9,0	4,0	266,7	4,0	-	-	-	-	-	-
s	0,9	2,8	6,2	1,2	0,6	4,2	1,4	40,8	0,7	-	-	-	-	-	-

Tabelle II: Herzfrequenz, syst. Blutdruck, △pH und △Lactat, Durchblutungswerte

Gr. I	HF	RR -1	RR +1	△ pH	△ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
W.B.	170	120	160	0,26	6,19	2,24	43,5	43,5	4	3,43	12,6	25,5	25
R.B.	184	140	150	0,31	10,44	2,72	37,5	37,5	5	5,20	30,0	30,0	6
O.G.	170	130	210	0,15	5,12	2,41	24,0	24,0	10	2,54	51,0	51,0	5
M.W.	170	135	150	0,15	2,84	2,26	25,5	25,5	12	5,12	39,0	39,0	19
U.D.	158	150	210	0,23	4,98	2,50	36,9	36,9	15	5,56	35,1	35,1	14
H.C.	192	130	210	0,10	5,74	2,16	42,0	42,0	5	2,70	29,7	29,7	9
W.F.	188	120	195	0,12	6,44	2,70	38,4	38,4	5	3,20	25,5	25,5	8
A.H.	185	150	160	0,28	6,79	2,64	39,0	39,0	7	5,33	10,2	21,6	10
K.A.	194	120	160	0,26	7,47	3,17	36,0	36,0	18	2,0	19,5	19,5	10
H.B.	194	140	150	0,27	7,59	2,54	38,5	38,5	20	2,82	46,8	46,8	5
R.M.	184	130	205	0,06	3,61	2,48	34,2	34,2	5	4,82	39,9	39,9	6
R.B.	172	135	230	0,20	8,30	2,34	25,5	25,5	25	8,73	34,8	34,8	18

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. I	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
W.S.	180	110	-	0,20	7,23	2,06	28,5	28,5	5	3,60	32,4	32,4	14
S.B.	192	-	240	0,17	5,47	2,65	35,1	35,1	10	2,93	31,8	31,8	24
R.K.	188	140	220	0,23	5,23	1,86	30,0	30,0	6	4,42	44,1	44,1	9
K.G.	192	-	170	-	5,87	2,14	22,8	22,8	16	2,67	38,4	38,4	12
K.H.	180	110	225	0,23	4,98	1,88	28,8	28,8	7	3,44	37,5	37,5	7
W.M.	160	120	230	0,18	3,45	1,51	27,3	27,3	10	3,72	20,4	20,4	6
K.S.	198	130	180	0,16	5,95	4,16	32,7	32,7	11	1,84	31,5	31,5	6
G.R.	186	130	180	0,16	6,53	2,88	29,4	29,4	14	8,24	48,0	48,0	27
W.M.	178	110	175	-	5,92	1,52	15,3	19,5	5	3,42	31,2	31,2	16
R.R.	180	170	230	-	9,27	3,28	42,3	42,3	4	3,02	35,4	35,4	6
S.S.	183	125	230	-	9,98	2,04	26,4	26,4	7	5,50	27,0	27,0	6
$\bar{x}$	180	120	185	0,16	6,49	2,44	32,2	32,3	10	4,09	32,7	33,0	12
s	10,8	40,6	50,7	0,10	2,16	0,59	7,2	6,8	5,8	1,78	10,5	10,0	6,8

Gr. II	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
A.S.	203	140	150	0,22	11,56	5,20	27,0	27,0	4	9,0	97,2	97,2	8
J.K.	174	120	170	0,23	6,83	3,64	15,6	16,8	8	1,78	15,9	15,9	7
C.H.	194	145	190	0,24	7,44	4,94	33,0	33,0	2	2,70	19,2	19,2	13
G.K.	188	120	135	0,14	6,58	6,32	14,4	16,5	16	6,60	25,2	25,2	13

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. II	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
H.L.	186	155	155	-	8,54	2,08	24,3	24,3	13	3,26	48,3	48,3	12
A.S.	198	110	155	0,18	6,98	2,10	24,3	24,3	10	8,72	25,2	26,7	8
P.F.	205	130	160	0,23	7,79	3,04	27,6	27,6	8	4,33	22,5	22,5	11
U.W.	190	120	140	0,23	9,05	2,48	14,1	17,4	10	3,90	26,4	26,4	4
S.H.	194	130	160	0,20	9,84	3,28	27,3	27,3	11	6,55	24,6	28,5	6
S.S.	190	120	155	0,19	9,96	2,84	18,0	18,0	4	4,36	29,4	29,4	4
E.S.	186	120	170	0,12	7,34	4,01	24,3	24,3	2	2,18	23,1	23,1	5
U.B.	203	100	150	0,14	5,30	2,96	30,0	30,0	8	4,51	33,6	33,6	7
J.K.	206	145	165	0,30	11,0	3,48	20,4	20,4	12	6,72	30,0	30,0	20
M.B.	188	135	180	0,24	5,89	4,30	21,3	21,3	8	6,15	28,5	28,5	9
T.B.	197	145	170	0,21	10,38	1,92	23,7	23,7	5	4,94	39,6	39,6	8
R.R.	198	120	145	0,24	7,44	2,28	18,0	18,3	9	7,69	70,8	70,8	15
J.S.	188	140	160	0,23	8,55	4,90	27,3	27,3	6	5,74	37,5	37,5	11
R.G.	206	145	150	0,36	8,98	4,40	34,5	34,5	6	6,93	66,0	66,0	4
A.Ü.	186	150	180	-	6,60	3,04	18,0	19,5	7	3,98	6,0	24,3	25
P.B.	200	130	155	0,25	8,11	2,60	48,0	48,0	5	7,50	38,1	38,1	12
M.K.	196	120	185	0,13	6,83	2,32	22,5	22,5	4	11,71	48,0	48,0	5
K.B.	194	130	150	0,11	5,06	3,96	24,0	24,0	14	6,18	30,0	30,0	8
H.R.	197	135	185	0,27	8,93	2,88	29,7	29,7	7	7,16	50,1	50,1	7
C.R.	192	130	180	0,22	10,70	4,30	24,4	24,4	10	2,80	22,0	22,0	13
W.B.	185	115	170	0,20	4,97	3,56	21,6	21,6	8	1,62	19,5	19,5	13

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. II	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF;	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
H.M.	188	115	140	0,21	8,25	1,50	21,0	21,0	7	1,53	15,0	15,0	7
K.K.	193	115	170	0,27	3,22	2,30	27,3	27,3	10	4,16	23,1	23,1	4
HD.W.	190	150	170	0,16	8,42	2,25	31,8	31,8	9	4,67	43,5	43,5	15
R.M.	194	150	180	0,21	-	2,46	30,3	30,3	10	4,70	30,3	30,3	17
$\bar{x}$	195	130	165	0,21	7,60	3,29	24,7	25,0	7,9	5,49	34,1	34,8	10,3
s	7,4	14,2	15,2	0,08	2,43	1,15	7,2	6,8	3,2	3,07	18,9	18,2	5,0

Gr. III	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
P.F.	178	110	190	0,20	4,48	4,62	30,6	30,6	5	4,78	27,6	27,6	14
U.W.	196	105	150	0,26	9,09	2,75	22,5	22,5	5	4,48	9,6	9,6	90
G.S.	197	150	210	0,28	10,30	2,30	18,3	18,3	18	3,98	27,0	27,0	11
P.D.	193	130	140	0,16	5,74	2,56	27,0	27,0	5	4,15	11,1	25,2	7
J.L.	192	110	180	0,23	7,55	2,01	27,0	27,0	12	3,02	30,9	30,9	47
P.K.	183	155	240	0,15	8,58	1,21	15,6	15,6	17	4,25	27,9	27,9	14
U.R.	190	120	145	0,26	4,94	2,98	16,8	18,6	9	5,21	25,2	25,8	31
W.B.	182	120	140	0,23	8,85	3,40	27,0	27,0	53	4,13	8,7	8,7	6
H.K.	192	145	180	0,22	6,45	3,08	42,0	42,0	6	2,48	25,8	25,8	7
L.S.	190	140	190	0,27	8,43	3,50	15,6	21,0	19	8,56	13,5	22,8	26
PI.K.	188	150	150	0,27	11,43	3,30	24,0	24,0	16	2,70	25,8	25,8	16

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. III	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
K.N.	210	140	220	0,29	9,53	1,48	24,6	24,6	8	3,28	28,5	28,5	10
T.H.	198	150	200	0,34	10,72	1,55	21,0	21,0	7	2,41	37,8	37,8	7
J.E.	190	145	190	0,22	10,53	1,92	21,9	21,9	5	12,71	20,7	40,5	8
$\bar{x}$	192	133,6	180	0,24	8,34	2,62	23,8	24,3	14,1	4,7	22,9	26,0	20,8
S	7,8	17,4	31,6	0,05	2,22	0,95	7,0	6,5	12,4	2,8	8,8	8,6	21,8

Gr. IV	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
H.K.	180	140	170	0,21	7,63	2,29	37,5	37,5	9	2,52	40,5	40,5	14
M.A.	171	110	150	0,13	4,84	4,02	14,4	14,8	6	5,45	25,5	25,5	8
A.R.	199	100	140	0,22	7,14	2,02	13,5	19,2	8	5,10	14,1	14,1	10
P.R.	185	120	160	0,42	8,48	3,60	30,3	30,3	7	2,62	5,2	10,2	8
HB.S.	201	140	160	-	-	2,18	22,5	22,5	17	4,53	25,3	25,3	8
R.H.	196	120	160	0,11	2,92	3,06	12,9	12,9	15	10,24	12,0	17,1	17
U.R.	194	110	175	0,22	6,52	5,37	12,0	15,0	8	7,55	10,2	15,6	36
A.P.	200	115	130	0,34	6,62	3,24	26,7	26,7	8	3,90	8,4	10,5	13
W.S.	182	120	150	0,18	2,72	2,52	10,2	14,4	8	7,88	15,0	21,0	12
J.S.	191	120	160	0,18	6,99	3,74	10,5	10,5	22	6,60	14,4	14,4	2
H.S.	193	110	150	0,17	5,47	1,86	17,1	17,1	10	6,00	12,3	12,3	44
E.F.	190	110	145	0,10	4,62	3,68	15,0	22,5	10	4,55	2,7	7,2	13

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. IV	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
M.G.	194	120	175	0,26	3,91	2,92	22,5	22,5	6	3,38	17,7	17,7	15
G.W.	198	130	160	0,21	6,42	2,56	20,4	20,4	12	7,68	30,0	30,0	7
B.W.	190	125	180	0,17	4,37	2,11	25,2	25,2	28	4,92	9,9	18,6	6
H.K.	171	120	190	0,11	5,97	4,50	14,4	14,4	43	3,10	18,6	18,6	13
O.D.	195	95	130	-	-	3,21	23,1	23,1	11	2,83	18,6	23,4	5
F.L.	184	110	170	0,21	5,42	2,51	21,0	21,0	11	2,83	10,2	22,2	5
D.J.	201	130	150	0,11	4,76	5,33	12,0	12,0	27	12,86	48,0	48,0	5
C.G.	193	120	175	0,13	5,97	2,60	12,0	12,0	13	3,68	15,0	15,0	2
$\bar{x}$	190	120	160	0,17	5,03	3,16	19,1	20,1	15,4	5,70	16,9	20,1	12,3
s	8,8	11,5	16,2	0,10	2,29	1,04	7,24	6,7	11,6	2,75	11,6	9,9	10,5

Gr. V	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
HJ.M.	177	110	125	0,29	8,32	3,08	45,3	45,3	9	1,34	32,1	32,1	10
S.L.	190	110	165	0,11	7,24	4,53	15,6	19,8	41	4,44	12,0	12,0	31
M.M.	176	110	130	0,17	7,65	2,16	19,2	19,2	6	3,12	18,0	18,0	21
J.S.	208	150	170	0,28	8,05	2,46	36,3	36,6	6	3,08	12,3	21,3	13
M.O.	194	150	160	0,15	6,15	2,04	22,5	22,5	12	4,33	16,8	16,8	6
S.P.	167	140	170	-	7,66	4,82	26,4	31,5	48	9,38	21,3	21,3	31
A.B.	193	105	140	0,18	4,97	3,00	13,2	17,1	8	2,37	8,9	8,9	13

Tabelle II: Fortsetzung

Gr. V	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWT	RUHE	FF	PF	HWZ
S.M.	184	100	170	0,20	-	2,54	12,0	13,5	5	2,65	18,3	18,3	17
$\bar{x}$	186	120	155	0,17	6,25	3,08	23,5	25,4	16,8	3,83	17,4	18,6	18,0
s	19,6	21,0	19,0	0,09	2,75	1,05	11,3	10,5	17,3	2,46	7,1	6,9	9,5

Gr. VI	HF	RR -1	RR +1	Δ pH	Δ LACT	RUHE	FF	PF	HWZ	RUHE	FF	PF	HWZ
J.S.	154	115	150	-	-	2,02	36,0	36,0	3	3,30	28,5	28,5	3
W.B.	200	125	165	-	8,37	3,72	29,4	29,4	4	5,70	44,1	44,1	21
T.M.	177	180	220	-	6,68	3,54	25,8	25,8	6	17,94	55,5	55,5	8
E.S.	202	130	160	-	6,07	2,71	27,0	27,0	5	6,80	22,8	22,8	18
W.F.	186	90	170	-	6,71	2,38	30,3	30,3	6	1,85	34,5	34,5	2
E.R.	162	115	160	-	7,23	2,50	21,6	21,6	8	4,58	16,5	16,5	38
$\bar{x}$	180	125	170	-	5,84	2,81	28,3	28,3	5,5	6,69	33,6	33,6	15,3
s	19,6	30,0	25,0	-	2,96	0,67	4,8	4,9	1,8	5,77	14,3	14,3	13,5

VII LITERATURVERZEICHNIS

1. Abrahams, V. C., S. M. Hilton and A. Zbrozyna: Active muscle vasodilatation produced by stimulation of the brain stem: its significance in the defence reaction. J. Physiol. 154, 491 - 513 (1960)

2. Andersen, P.: Capillary density in skeletal muscle of man. Acta physiol. scand. 95, 203 - 205 (1975)

3. Astrand, P. O.: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Kopenhagen: Munksgaard 1952

4. Barbey, K. und P. Barbey: Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung. Z. Kreisl. Forsch. 52, 1129 - 1140 (1963)

4. Barnard, R. J., V. R. Edgerton and J. B. Peter: Effect of exercise on skeletal muscle. J. appl. Physiol. 28, 762 - 766 (1970)

6. Bollinger, A.: Durchblutungsmessungen in der klinischen Angiologie. Bern: Huber 1969

7. Brodal, P., Ingjer, F. and L. Hermansen: Capillary supply of skeletal fibers in untrained and endurance trained men. Acta physiol. scand. suppl. 440, 178 (1976)

8. Burton, A. C.: Physiologie und Biophysik des Kreislaufs. Stuttgart: Schattauer 1969

9. Caesar, K., K. Bader und D. Jeschke: Entstehung und Rückbildung von Veränderungen in der Extremitätendurchblutung während und nach einer Trainingsperiode. Med. Welt 23, 1110 - 1114 (1972)

10. Caesar, K. und D. Jeschke: Trainingseinflüsse auf die Kreislaufperipherie. Internist 11, 283 - 285 (1970)

11. Caesar, K., M. Neher, P. Schollmeyer und E. Stein: Veränderungen der Ruhedurchblutung, der reaktiven Hyperämie und der Durchblutung nach Belastung in der Unterarmmuskulatur im Verlauf eines isometrischen Trainings. Z. Kreisl.-Forsch. 58, 345 - 351 (1968)

12. Chintanaseri, Ch.: Untersuchung zur Bestimmung der PWC_{170} mit unterschiedlichen Leistungsstufen. Berlin Inaugural-Dissertation 1973

13. Clausen, J. P., K. Klausen, B. Rasmussen and J. Trap-Jensen: Effects of selective arm- and leg training on cardiac output and regional blood flow. Scand. J. clin. Lab. Invest. 26, 295 - 301 (1970)

14. Clausen, J. P., O. A. Larsen and J. Trap-Jensen: Physical training in the management of coronary artery disease. Circulation 40, 143 - 154 (1969)

15. Clausen, J. P. and J. Trap-Jensen: Effects of training on the distribution of cardiac output in patients with coronary artery disease. Circulation 42, 611 - 624 (1970)

16. Clausen, J. P., J. Trap-Jensen and N. A. Lassen: The effects of training on the heart rate during arm and leg exercise. Scand. J. clin. Lab. Invest. 26, 295 - 301 (1970)

17. Doll, E., J. Keul, Ch. Maiwald und H. Reindell: Das Verhalten von Sauerstoffdruck, Kohlensäuredruck, pH, Standardbicarbonat und base excess im arteriellen Blut bei verschiedenen Belastungsformen. Int. Zschr. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 327 - 355 (1966)

18. Dransfeld, B. und H. Mellerowicz: Untersuchungen über Leistungsfähigkeit und Herzschlagfrequenz von Untrainierten bei Maximalleistungen am Handkurbelergometer. Int. Zschr. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 17, 207 - 215 (1958)

19. Dransfeld, B. und H. Mellerowicz: Untersuchungen über das Verhalten der Herzschlagfrequenz während und nach körperlichen Leistungen.
Int. Zschr. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 16, 464 - 471 (1957)

20. Dreisbach, W., R. Rost, D. Böning, W. Hollmann, H. Liesen, H. Philippi und H. Feldermann: Untersuchungen zur Frage einer trainingsbedingten Sauerstoffutilisation im Skelettmuskel des Menschen.
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 12, 377 - 384 (1979)

21. Duff, R. S.: Circulatory changes in the forearm following sympathectomy.
Clin. Sci. 10, 529 - 537 (1951)

22. Elsner, R. W. and L. D. Carlson: Postexercise hyperemia in trained and untrained subjects.
J. appl. Physiol. 17, 436 - 440 (1962)

23. Fischer, H. und K. Barbey: Die Extremitätendurchblutung beim varikösen Symptomenkomplex.
Med. Welt 7, 370 - 373 (1967)

24. Folkow, B.: Intravascular pressure as a factor regulating the tone of small vessels.
Acta physiol. scand. 17, 289 - 310 (1949)

25. Folkow, B., B. Johansson and B. Öberg: A hypothalamic structure with a marked inhibitory effect on tonic sympathetic activity.
Acta physiol. scand. 47, 262 - 270 (1959)

26. Franz, I.: Vergleichende Untersuchungen zur Messung der PWC_{170}.
Berlin, Inaugural-Dissertation 1973

27. Golenhofen, K., D. A. Blair und S. Seidel: Zur Natur affektiver Muskeldurchblutungssteigerungen beim Menschen.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 272, 223 - 236 (1961)

28. Golenhofen, K. und G. Hildebrand: Psychische Einflüsse

auf die Muskeldurchblutung.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 263, 637 - 646 (1957)

29. Gollnick, P. D., R. B. Armstrong, C. W. Saubert, K. Piehl and B. Saltin: Enzyme activity on fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men.
J. appl. Physiol. 33, 312 - 319 (1972)

30. Gottstein, U., I. Sedlmeyer und M. Schöttler: Quantitative Messungen der Unterschenkeldurchblutung von Gesunden und von Kranken mit peripheren Zirkulationsstörungen. Die Bedeutung der Größe von Ruhedurchblutung und reaktiver Hyperämie als Kriterien für den Schweregrad der Ischämie.
Z. Kreisl.-Forsch. 58, 332 - 343 (1969)

31. Graf, K.: Auswertung und Meßfehler okklusionsplethysmografischer Durchblutungsregistrierungen.
Acta physiol. scand. 60, 120 - 135 (1964)

32. Grimby, G., E. Häggendal and B. Saltin: Local ^{133}xenon clearance from the quadriceps muscle during exercise in man.
J. appl. Physiol. 22, 305 - 310 (1967)

33. Gutmann, J.: Auszug aus einer in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. G. Rudofsky, Universität Ulm, entstehenden Broschüre über Venen-Verschluß-Plethysmografie. 1977

34. Heinecke, A., E. Hultsch, R. Nienhaus, A. Reisch und F. Wingert: Biomathematik für Mediziner. 2. Aufl.
Berlin - Heidelberg - New York: Springer 1976

35. Hollmann, W.: Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.
Darmstadt: Dr. Dietrich. Steinkopff Verlag 1959

36. Hollmann, W. und Th. Hettinger: Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen.
Stuttgart - New York: Schattauer 1976

37. Hollmann, W. und H. Liesen: Der Trainingseinfluß auf die Leistungsfähigkeit von Herz, Kreislauf und Stoffwechsel im Alter.

Münch. med. Wschr. 31, 1336 - 1342 (1972)

38. Holmgren, A. and G. Ström: Blood lactate concentration in relation to absolute and relative work load in normal men, and in mitral stenosis, atrial septal defect and vasoregulatory asthenia.
Acta med. scand. 3, 183 - 193 (1959)

39. Horstschäfer, W.: Sauerstoffverbrauch und Muskeldurchblutung von Sportlern und Nichtsportlern bei submaximalen kurzfristigen Arbeitsleistungen.
Frankfurt Inaugural-Dissertation 1969

40. Keul, J., E. Doll und D. Keppler: Muskelstoffwechsel.
München: Johann Ambrosius Barth 1969

41. Keul, J., E. Doll, D. Keppler und H. Reindell: Die Veränderungen arterieller Substratspiegel unter dem Einfluß körperlicher Arbeit.
Int. Zschr. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 356 - 385 (1966)

42. Keul, J. und G. Haralambie: Energiestoffwechsel und körperliche Leistung.
In: Zentrale Themen der Sportmedizin, von W. Hollmann (Hrsg.). 2. Aufl. Berlin - Heidelberg - New York: Springer 1977

43. Keul, J., D. Keppler und E. Doll: Beziehungen zwischen Standardbicarbonat, ph-Wert und Lactat- und Pyruvatkonzentration im Blut während und nach körperlicher Arbeit.
Dtsch. med. Wschr. 92, 66 - 68 (1967)

44. Keul, J., W. Kindermann und G. Simon: Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik.
Leistungssport 1, 22 - 32 (1978)

45. Knauf, H. und W. Schroeder: Über die Beziehung des pulsierenden Stromvolumens zur gesamten Muskeldurchblutung und deren Beeinflussung durch Muskeltraining.
Z. Kreisl.-Forsch. 56, 360 - 367 (1967)

46. Kössling, F. K.: Vergleichende Untersuchungen über die Regulation der Leistungs-Herzschlagfrequenz bei trainierten und untrainierten Personen mit der Methode der Pulszeitschreibung.
Med. Welt 31, 1567 - 1572 (1960)

47. Kühn, K. D.: Auswirkungen eines Ausdauertrainings (Trimm-Trab) auf die periphere Durchblutung.
Tübingen Inaugural-Dissertation 1979

48. Kroese, A. J.: The effect of inactivity on reactive hyperaemia in the human calf.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 37, 53 - 58 (1977)

49. Kroese, A. J.: The influence of age on reactive hyperaemia in the human calf.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 37, 105 - 109 (1977)

50. Kroese, A. J.: Reactive hyperaemia in the calf of trained and untrained subjects.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 37, 111 - 115 (1977)

51. Kroese, A. J.: Reactive hyperaemia in the human calf after long lasting ischaemia.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 36, 739 - 745 (1976)

52. Kroese, A. J.: Reactive hyperaemia in the human lower limb.
J. Oslo City Hosp. 27, 41 - 50 (1977)

53. Liesen, H., E. Heikkinen, H. Suominen, D. Michel: Zur wissenschaftlichen Begründung körperlichen Trainings als Mittel der Prävention und Rehabilitation bei älteren Menschen. I Der Effekt eines zwölfwöchigen Ausdauertrainings auf die Leistungsfähigkeit und den Muskelstoffwechsel bei untrainierten Männern des 6. und 7. Lebensjahrzehnts.
Sportarzt und Sportmed. 2, 26 - 30 (1975)

54. Marées, H. de: Sportphysiologie.
Schriftenreihe Medizin von heute 1976

55. Marées, H. de und K. Barbey: Änderung der peripheren Durchblutung durch Ausdauertraining.
Z. Kardiol. 62, 653 - 663 (1973)

56. Mellerowicz, H.: Ergometrie.
3. Aufl. München - Berlin - Baltimore: Urban und Schwarzenberg 1979

57. Mellerowicz, H. und A. Petermann: Zur Leistungsdiagnostik des Kreislaufs.
Arzt und Sport 4/2, 9 - 14 (1956)

58. Moret, P. R.: Modifications de l'élasticité artérielle avec l'age.
Bibl. Cardiol. 15, 40 - 75 (1964)

59. Nielsen, M.: Die Respirationsarbeit bei Körperruhe und bei Muskelarbeit.
Scand. Arch. Physiol. 74, 299 - 316 (1936)

60. Nöcker, J. und V. Böhlau: Der Sauerstoffpuls in Abhängigkeit vom Lebensalter.
Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.-Forsch. 24, 225 - 231 (1958)

61. Philippi, H., W. Hollmann und H. Liesen: Über den Effekt eines lokalen aeroben Trainings auf die muskuläre Durchblutung und die lokale aerobe Ausdauer männlicher und weiblicher Personen.
Sportarzt und Sportmed. 2, 30 - 36 (1973)

62. Philippi, H., H. Liesen und W. Hollmann: Die Änderung der lokalen Durchblutungsgröße des menschlichen Unterarmes in Abhängigkeit vom Trainingsreiz.
Deutscher Sportärztekongress Würzburg, 24. Tagung. 149 - 153 (1971)

63. Reindell, H. und H. W. Kirchhoff: Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufs und der Atmung.
Dtsch. med. Wschr. 81, 592 - 598 (1956)

64. Reindell, H. und H. W. Kirchhoff: Über kombinierte Funktionsprüfungen des Kreislaufs und der Atmung.
Dtsch. med. Wschr. 81, 659 - 661 (1956)

65. Reindell, H., K. König und H. Roskamm: Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.
Stuttgart: G. Thieme 1967

66. Reis, D. J., F. Wooten and M. Hollenberg: Differences in nutrient blood flow of red and white skeletal muscle in the cat.
Am. J. Physiol. 213, 592 - 596 (1967)

67. Romanovská, L. and I. Přerovský: The age factor in blood flow in the calf and in vascular resistance at rest and in reactive hyperaemia.
Physiol. bohemoslov. 28, 309 - 313 (1978)

68. Rost, R. und W. Dreisbach: Zur wissentschaftlichen Begründung körperlichen Trainings als Mittel der Prävention und Rehabilitation bei älteren Menschen. II Veränderungen im Bereich der zentralen Hämodynamik durch körperliches Training.
Sportarzt und Sportmed. 2, 32 - 35 (1975)

69. Rudofsky, G. und J. Gutmann: Venenverschluß-Plethysmographie.
Eurasburger Berichte zu Themen der Angiologie und Kardiologie. Eurasburg 1979

70. Schaumlöffel, R.: Das Verhalten der peripheren Durchblutung bei Patienten mit frischem Myokardinfarkt und unter dem Einfluß einer frühzeitigen, dosierten Bewegungstherapie.
Tübingen Inaugural-Dissertation 1975

71. Schröder, W.: Nutritive und nicht nutritive Skelettmuskeldurchblutung.
Arch. Kreisl.-Forsch. 49, 36 - 49 (1966)

72. Schröder, W. und B. Grimm: Untersuchungen über die zentrale Beeinflussung der Skelettmuskeldurchblutung durch Hypothalamus-Mittelhirnreizungen.
Pflügers Arch. 281, 111 (1964)

73. Seltzer, C. C. and J. Mayer: Greater reliability of the triceps skin fold over the subscapular skin fold as an

index of obesity.
Amer. J. clin. Nutr. 9, 950 - 953 (1967)

74. Stein, E.: Die spontane vasomotorische Aktivität der peripheren Strombahn des Menschen.
Z. Kreisl.-Forsch. 43, 73 - 90 (1954)

75. Steinkamp, R. C.: Measures of body fat and related factors in normal adults.
J. chron. Dis. 18, 1279 - 1289 (1964)

76. Tiedt, N., B. Wohlgemuth und P. Wohlgemuth: Die statische Kennlinie der Belastungsfrequenz.
Med. und Sport XIII, 87 - 94 (1973)

77. Tönessen. K. H.: Blood flow through muscle during rhythmic contraction measured by ^{133}xenon.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 16, 646 - 654 (1964)

78. Treumann, F.: Die Muskeldurchblutung beim trainierten und nicht trainierten Menschen.
Frankfurt Inaugural-Dissertation 1968

79. Treumann, F.: Auswirkungen des körperlichen Trainings auf die Muskeldurchblutung.
Zschr. phys. Med. 2, 289 - 295 (1971)

80. Treumann, F. und W. Schröder: Trainingseinfluß auf Muskeldurchblutung und Herzfrequenz.
Z. Kreisl.-Forsch. 11, 1024 - 1033 (1968)

81. Wahlund, H.: Determination of the physical working capacity.
Acta med. scand., Suppl 215 (1948)

82. Wetterer, E.: Bau und Funktion des Gefäßsystems.
In: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie von W. D. Keidel 5. Aufl. Stuttgart: G. Thieme 1979

83. Wörz, E.: Zur Diagnostik von Kreislaufuntersuchungen mittels Dehnungsmeßstreifen-Plethysmographie
Herz/Kreisl. 12, 330 - 333 (1980)

LEBENSLAUF

Am 30. August 1951 wurde ich, Herbert Hörth, als Sohn des Schneidermeisters Emil Hörth und seiner Ehefrau Hedwig Hörth, geb. Nothdurft, in Ottersweier geboren.

Nach vierjähriger Volksschulzeit besuchte ich das Windeck-Gymnasium in Bühl/Baden, wo ich am 5. Juni 1970 das Abitur mit Erfolg ablegte.

Vom 1. Juli 1970 bis zum 30. Juni 1972 leistete ich Dienst bei der Bundeswehr als Soldat auf Zeit.

Vom 1. September 1972 bis zum 31. Dezember 1972 absolvierte ich das Krankenpflegepraktikum im Kreiskrankenhaus Bühl/Baden.

Im SS 1973 und WS 1973/74 studierte ich Biochemie an der Universität Tübingen.

Vom 1. April 1974 bis zum 30. September 1974 arbeitete ich als Pflegehelfer in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen.

Im WS 1974 begann ich das Medizinstudium an der Universität Tübingen, das ich am 21. Oktober 1980 mit Ablegen des Dritten Teiles der Ärztlichen Prüfung beendete.